ISBN : 978 602 7341 8 5

SeNTI_UGM 2018

PROCEEDING

SEMINAR NASIONAL

TEKNIK INDUSTRI

FRONTIERS IN *INDUSTRIAL ENGINEERING*

Yogyakarta, 17 Oktober 2018

Prosiding

SEMINAR NASIONAL TEKNIK INDUSTRI 2018
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Frontiers in Industrial Engineering

Yogyakarta, 17 Oktober 2018

Diterbitkan oleh:
Departemen Teknik Mesin dan Industri
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada

Prosiding Seminar Nasional Teknik Industri 2018
Frontiers in Industrial Engineering

Editor**:** M. Kusumawan Herliansyah, ST., MT., Ph.D., Nur Aini Masruroh, S.T, M.Sc., Ph.D., Sinta Rahmawidya Sulistyo, S.T., MSIE., Titis Wijayanto, S.T, M.Des., Dr. Eng.

Reviewer**:**

Ir. Alva Edy Tontowi, M.Sc., Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Andi Rahadiyan Wijaya, S.T, M.Sc, Lic., Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Andi Sudiarso, S.T, M.T, M.Sc., Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Anna Maria Sri Asih, S.T, M.M, M.Sc, Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Budi Hartono, S.T, M.PM, Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Budi Sholeh Wibowo, ST., MT., MBA., P.D.Eng	(Universitas Gadjah Mada)
Dawi Karomati Baroroh, S.T, M.Sc	(Universitas Gadjah Mada)
Dwi Handayani, S.T., M.Sc.	(Universitas Islam Indonesia)
Fitri Trapsilawati, S.T., Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Hari Agung Yuniarto, S.T., M.Sc., Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Herianto, S.T, M.Eng., Dr. Eng	(Universitas Gadjah Mada)
I Gusti Bagus Budi Dharma, S.T, M.Eng, Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Dr. I Made Miasa, S.T., M.Sc.	(Universitas Gadjah Mada)
Muhammad Adha Ilhami, S.T., M.T.	(Universitas Sultan Ageng Tirtayasa)
M. Arif Wibisono, S.T, M.T., Dr. Eng.	(Universitas Gadjah Mada)
M. Kusumawan Herliansyah, S.T, M.T, Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Nur Aini Masruroh, S.T, M.Sc., Ph.D.	(Universitas Gadjah Mada)
Nur Mayke Eka Normasari, S.T., M.Eng	(Universitas Gadjah Mada)
Retno Wulan Damayanti, S.T., M.T.	(Universitas Sebelas Maret)
Ir. Rini Dharmastiti, M.Sc, Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Sinta Rahmawidya Sulistyo, S.T., M.SIE	(Universitas Gadjah Mada)
Ir. Subagyo, Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Titis Wijayanto, S.T, M.Des., Dr. Eng.	(Universitas Gadjah Mada)
Dr. Yosephine Suharyanti, S.T., M.T.	(Universitas Atma Jaya Yogyakarta)

ISBN 978-602-73461-8-5

© 2018 Departemen Teknik Mesin dan Industri,
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Alamat : Jalan Grafika No. 2, Yogyakarta, 55281
E-mail : senti.ft@ugm.ac.id

KATA PENGANTAR

Seminar Nasional Teknik Industri (SeNTI) merupakan seminar nasional yang dilaksanakan oleh Program Studi Teknik Industri Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. SeNTI dan seminar-seminar pendahulu seperti CAE (*Conference on Applied Ergonomics*), SMART (*Seminar on Application and Research in Industrial Technology*), dan Teknosim (Seminar Nasional Teknologi Simulasi) telah berhasil dimanfaatkan oleh para pesertanya (peneliti, praktisi, dan mahasiswa) sebagai media berkomunikasi dan mengembangkan jejaring terkait dengan bidang-bidang keilmuan teknik industri dan teknologi industri secara umum.

Pada tahun 2018 ini, SeNTI kembali diselenggarakan dengan mengangkat topik utama "*Frontier in Industrial Engineering"*. Topik ini diambil untuk mewadahi capaian-capaian terkini pada penelitian di bidang keteknikindustrian khususnya dalam menyongsong *Industry 4.0*. Secara keseluruhan, makalah yang dipresentasikan dan dimuat dalam prosiding pada seminar nasional ini meliputi makalah di bidang Ergonomika, Riset Operasi, Teknik Produksi, dan Sistem Manufaktur. Panitia berharap penerbitan Prosiding SeNTI 2018 ini dapat menjadi referensi dalam pengembangan penelitian di masa mendatang, serta memacu para akademisi dan praktisi di bidang keteknikindustrian untuk saling bersinergi dan berkolaborasi.

SeNTI 2018 ini dapat terlaksana dengan sukses berkat partisipasi dan bantuan dari berbagai pihak. Panitia mengucapkan terima kasih atas dukungan dari pihak yang telah berkontribusi dalam pelaksanaan Seminar Nasional Teknik Industri (SeNTI 2018) ini baik pembicara utama, *reviewer*, pemakalah, *sponsorship*, peserta, dan seluruh panitia yang terlibat. Kami menyampaikan permohonan maaf apabila terdapat kekurangan atau kesalahan pada penyusunan prosiding ini.

Yogyakarta, 17 Oktober 2018
Ketua Panitia

Dr. Eng. Titis Wijayanto, ST, M.Des
NIP 198207092015041001

ISBN 978-602-73461-8-5

SUSUNAN PANITIA

Pengarah

Dekan Fakultas Teknik UGM
Prof. Ir. Nizam, M.Sc., Ph.D.
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Industri UGM
Prof. Mochammad Noer Ilman, S.T., M.Sc., Ph.D.
Ketua Program Studi S1 Teknik Industri UGM
Bertha Maya Sopha, ST., M.Sc., Ph.D.
Ketua Program Studi S2 Teknik Industri UGM
M. Kusumawan Herliansyah, ST., MT., Ph.D.
Ketua Program Studi S3 Teknik Industri UGM
Nur Aini Masruroh, S.T, M.Sc., Ph.D.

Penanggung jawab

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Industri UGM
Prof. Mochammad Noer Ilman, S.T., M.Sc., Ph.D.

Panitia

Ketua Panitia : Dr. Titis Wijayanto, S.T., M.Des., Dr.Eng.
Anggota : M. Kusumawan Herliansyah, S.T., M.T, Ph.D
: Nur Aini Masruroh, S.T., M.Sc., Ph.D
: Nur Mayke Eka Normasari, S.T., M.Eng
: Ir. Rini Dharmastiti, M.Sc, Ph.D
: Sinta Rahmawidya Sulistyo, S.T., MSIE
: Ir. Subagyo, Ph.D
: Taufik Ramadhan F, S.T.
: Indra Ali Ahmad, S.T.
: Gracia Matatula, S.T.
: Chieka Nabella P, S.T.
: Yuliayani Nur A, S.T.
: Azizah Nur Ilmi, S.T.
: Andana Dwi Aprilia Rakadiputra, S.T.
: Famila Dwi Winati, S.T.
: Nias Sukmaningsih, S.T.
: Desita Nur Rachmaniar, S.T.
: Grahita Prisca B, S.T.
: Dita Chasanah Dewi S, S.T.
: Hendrik Christianto, S.T.
: Krisnawanti, S.T.
: Bonifasius Yoga Adi Pratama, S.T.
: Hanissa Okitasari, S.T.
: Yulia Kharisma, S.T.
: Dyah Sukmawati, S.T.

ISBN 978-602-73461-8-5

: Anirawilda Purba, S.T.
: Sigit Rahmat Rizalmi, S.T.
: Ahmad Ainul Yaqin, S.T.
: Halim Qista Karima, S.T.
: Poppy Nandasari, S.T.
: Ibnu Abdul Rosid, S.T.
: Irvan Setyawan, S.T.
: Bagus Prabowo Aji, S.T.
: Kurniawan Hamidi, S.T.
: Noni Oktiana S, S.T.
: Hesti Mustika Sari, S.T.
: Yulinda Uswatun K, S.T.

***Editor*:**

M.K Herliansyah, S.T, M.T, Ph.D
Nur Aini Masruroh, S.T, M.Sc., Ph.D.
Sinta Rahmawidya Sulistyo, S.T., MSIE
Titis Wijayanto, S.T, M.Des., Dr. Eng.

***Reviewer*:**

Ir. Alva Edy Tontowi, M.Sc., Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Andi Rahadiyan Wijaya, S.T, M.Sc, Lic., Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Andi Sudiarso, S.T, M.T, M.Sc., Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Anna Maria Sri Asih, S.T, M.M, M.Sc, Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Budi Hartono, S.T, M.PM, Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Budi Sholeh Wibowo, ST., MT., MBA., P.D.Eng	(Universitas Gadjah Mada)
Dawi Karomati Baroroh, S.T, M.Sc	(Universitas Gadjah Mada)
Dwi Handayani, S.T., M.Sc.	(Universitas Islam Indonesia)
Fitri Trapsilawati, S.T., Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Hari Agung Yuniarto, S.T., M.Sc., Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Herianto, S.T, M.Eng., Dr. Eng	(Universitas Gadjah Mada)
I Gusti Bagus Budi Dharma, S.T, M.Eng, Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Dr. I Made Miasa, S.T., M.Sc.	(Universitas Gadjah Mada)
Muhammad Adha Ilhami, S.T., M.T.	(Universitas Sultan Ageng Tirtayasa)
M. Arif Wibisono, S.T, M.T., Dr. Eng.	(Universitas Gadjah Mada)
M. Kusumawan Herliansyah, S.T, M.T, Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Nur Aini Masruroh, S.T, M.Sc., Ph.D.	(Universitas Gadjah Mada)
Nur Mayke Eka Normasari, S.T., M.Eng	(Universitas Gadjah Mada)
Retno Wulan Damayanti, S.T., M.T.	(Universitas Sebelas Maret)
Ir. Rini Dharmastiti, M.Sc, Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Sinta Rahmawidya Sulistyo, S.T., M.SIE	(Universitas Gadjah Mada)
Ir. Subagyo, Ph.D	(Universitas Gadjah Mada)
Titis Wijayanto, S.T, M.Des., Dr. Eng.	(Universitas Gadjah Mada)
Dr. Yosephine Suharyanti, S.T., M.T.	(Universitas Atma Jaya Yogyakarta)

ISBN 978-602-73461-8-5

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL **i**
KATA PENGANTAR **iii**
SUSUNAN PANITIA **iv**
DAFTAR ISI **vi**

ER – ERGONOMIKA

Judul dan Penulis	Halaman
Identifikasi Keandalan Operator dengan Pendekatan Kognitif pada Departemen *Sewing* **Agustina Hotma Uli T., Andi R. Wijaya, I G.B. Budi Dharma**	ER-1
Evaluasi Aktivitas *Manual Material Handling* dengan Metode *Risk Assessment in Pushing and Pulling* (RAPP) **Ani Umyati, Aristyo Widianto, Lovely Lady, Ade Sri Mariawati**	ER-13
Analisis Perbandingan Metode Penilaian Postur Kerja Menggunakan OWAS, RULA, REBA, dan ROSA **Ardania Meilaningrum, Ratna Purwaningsih**	ER-22
Analisis Sistem Tanggap Darurat pada Peristiwa Luar Biasa Hebat (PLH) di PT Kereta Api Indonesia (Persero) Daerah Operasi 5 Purwokerto **Dezembrix Taufik Muttaqin, Widodo Hariyono**	ER-34
Perancangan *Liquid Cooling Garment* Menggunakan *Peltier Device* Untuk Aktivitas di Lingkungan Panas **Esmu Aprianto, Titis Wijayanto**	ER-45
Analisis Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Unit Polyster Berdasarkan Metode HAZOP di PT. ABC **Firgiawan Iksanja, Niko Siameva Uletika**	ER-51
Perbaikan Kondisi Iklim Kerja pada Industri XYZ, Surakarta **Ghina Nurrahma, Bambang Suhardi, Rahmaniyah Dwi Astuti**	ER-60
Pengaruh Beban Kerja Mental dan Fisik Terhadap Perilaku Keselamatan Kerja Karyawan Proyek Konstruksi **Hana Silvia Dwi Putri, Budi Hartono**	ER-71
Perbaikan Temperatur di Ruang Produksi Batik Printing (Studi Kasus : PT. Batik Marak Manis) **Iga Kusuma Wardhani, Bambang Suhardi, Rahmaniyah Dwi Astuti**	ER-83
Analisis Kecepatan Reaksi Petugas Pengendali Kereta Api di Stasiun Besar Kelas A dan B Daerah Operasi II Bandung **Lauditta Irianti, Bayu Setia Indrawan, Arie Desrianty**	ER-91
Analisis Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja dengan Metode HIRARC pada Aktivitas Pemuatan Semen di PT. XYZ **Lukman Setiadi, Rani Aulia Imran**	ER-102
Atribut Spesifikasi Produk pada Desain Sepeda Anak Usia 6-12 Tahun Menggunakan Metode *Rapid Etnografi* **Marcellino Aditya Mahendra, Rini Dharmastiti**	ER-111

ISBN 978-602-73461-8-5

Judul dan Penulis	Halaman
Evaluasi Penerapan *Work Improvement for Small Enterprises* (WISE) pada IKM XYZ **Serlita Vidinia Wardani, Bambang Suhardi, Wakhid Ahmad Jauhari**	ER-117

RO – RISET OPERASI

Judul dan Penulis	Halaman
Business Process Improvement sebagai Dasar Perbaikan Untuk Memperpendek Waktu Siklus pada *Service Routine Activity* **Akbar Gunawan, Nuraida Wahyuni, Putiri Bhuana Katili, Dhana Alianissa Putri**	RO-1
Model Optimisasi Lot Produksi dengan Mempertimbangkan Inspeksi Sensus & Biaya Penalti pada Sistem Produksi *Multistage* **Arie Desrianty, Hendro Prassetiyo, Putri Zsa Zsa Leani Leuser**	RO-14
Penjadwalan dan Optimasi Biaya Pemeliharaan Mesin Press Manual Menggunakan Metode *Realibility Centered Maintenance* (RCM) II pada PT. CCC **Arief Suwandi, Supriyadi**	RO-24
Pengembangan Rekomendasi Untuk Menurunkan Emisi SO2 dan NOx dengan Optimalisasi Level Parameter Menggunakan Metode Taguchi (Studi Kasus: PT Sinar Tambang Arthalestari) **Aries Susanty, Auni Wahyu Intan Pertiwi**	RO-36
Integrasi Simulasi *Monte Carlo* dan Sistem Dinamis dalam Merumuskan Kebijakan Persediaan Bahan Baku Model P *Backorder* **Asep Ridwan, Evi Febianti, Maulana Bagus R**	RO-47
Strategi Pengambilan Keputusan Penjualan Dalam Rangka Optimasi Profit Industri Ritel Berbasis *Unsupervised Machine Learning Algorithm* (Studi Kasus *Modern Minimarket*-X) **Bagus Prabowo Aji, Muh.Arif Wibisono**	RO-59
Gaya Kepemimpinan dan Sikap Senior Manajer pada Inisiatif Pengembangan Inovasi dan Produk Baru Hijau di Industri Kecil Menengah **Broto Widya Hartanto, Amallia Puspitasari**	RO-70
Model Optimasi Distribusi Logistik Bencana di Demak dan Pekalongan dengan *Integer Linear Programming* **Dyah Ika Rinawati, Sriyanto, Annisa Fajrita Yuandari**	RO-80
Optimasi Sandar Kapal Menggunakan Simulasi Sistem di Dermaga I PT ASDP Indonesia Ferry (PERSERO) Cabang Merak **Dyah Lintang Trenggonowati, Ratna Ekawati, Asep Ridwan, Manuhara Bramandipo Topani**	RO-91
Kajian Awal Analisis Pemilihan *Supplier* dan Jasa pengiriman Part 3D Printer untuk mengoptimalkan Biaya Produksi **Elsya Paskaria Loyda, Herianto**	RO-103
Kajian Awal *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Multi Trips* Untuk Penentuan Rute Distribusi BBM **Hasyrani Windyatri, Nur Aini Masruroh**	RO-111

ISBN 978-602-73461-8-5

Judul dan Penulis	Halaman
Perancangan Ulang Tata Letak Gudang Logistik Bencana Menggunakan *Dedicated Storage* dan Pendekatan Simulasi **Khadijatuzzahro Al Arifiyyah Aritonang, Prima Denny Sentia, Andriansyah**	RO-118
Profiling Mahasiswa Program Studi S2 Teknik Industri Universitas Gadjah Mada **Marta Hayu Raras Sita Rukmika Sari , Andi Rahadiyan Wijaya**	RO-127
Analisis Pola Perpindahan Pemilihan Tipe Mobil pada Showroom XYZ dengan Menggunakan *Markov Chains* **Nazaruddin, Pudji Astuti**	RO-138
Usulan Perbaikan Tata Letak Gudang Barang Jadi PT X menggunakan *Class-Based Storage* berdasarkan Analisis *Entry Item Quantity* (EIQ) **Nirwan Setiawan, Fran Setiawan, Yani Herawati**	RO-145
Perancangan Database Berbasis *Google Sheets* untuk Penilaian *Performance Indicator* Mata Kuliah Berstandar ABET (Studi Kasus Mata Kuliah S1 Teknik Industri UGM) **Qonita Haula Kinanti, I G. B. Budi Dharma**	RO-156
Kajian Awal Analisis Faktor Kelulusan Mahasiswa dengan *Artificial Neural Network* **Rizky Syahrani Andrifa, Andi Rahadiyan Wijaya**	RO-164
Penentuan Produk Unggulan Usaha Kecil Menengah Pengolahan Ikan di Kota Serang **Shanti Kirana Anggraeni, M. Syamsul Maarif, Sukardi, Sapta Raharja**	RO-169
Prediksi Masa Studi Mahasiswa Berbasis Algoritma *Naive Bayes* **Singgih Saptadi, Sriyanto, Andy Imanuel**	RO-179
The Optimization Models for Shipping Allocation and Transportation within a Sago-Starch Supply Chain **Syamsul Anwar**	RO-188
A Study of Pollution Routing Problem **Syarif Al Fajrin, Fu-Kwun Wang, Nur Aini Masruroh**	RO-197
Pengembangan Metode Pemilihan *Suppliers* Potensial **Titi Indarwati, Nur Aini Masruroh**	RO-204
Optimasi Interval Perawatan Jalan Rel Kereta Api Berdasarkan Minimasi Biaya **Wini Wiliyanti, Andi Rahadiyan Wijaya**	RO-215
Kajian Awal Pengembangan Model Tata Kelola Sampah Menggunakan Pemodelan Sistem Dinamis **Yekti Condro Winursito, Anna Maria Sri Asih**	RO-225

TP – TEKNIK PRODUKSI

Judul dan Penulis	Halaman
Usulan *Preventive Maintenance* Mesin *Compactor* Menggunakan Metode *Reliability Block Diagram* Untuk Menurunkan *Downtime* di PT. XYZ **Ade Irman, Evi Febianti , Putro Ferro Ferdinant, M. Kurnia Fauzan**	TP-1

ISBN 978-602-73461-8-5

Judul dan Penulis	Halaman
Analisis Penyebab Kegagalan Pengadaan Peralatan PDKB Sentuh Langsung (SL) dengan Pendekatan *Root Cause Analysis* (RCA) (Studi Kasus pada PT PLN Distribusi Jawa Tengah dan D.I.Yogyakarta) **Adinda Hasnarani, Ratna Purwaningsih**	TP-12
Pengurangan *Waste* pada Proses Produksi Kacang Shanghai di PT ABC Tulungagung dengan Metode *Lean Manufacturing* **Avinda Shaina Marastya, Akhmad Nidhomuz Zaman, Muhamad As'adi**	TP-21
Analisis Kebijakan *Preventive* dan *Corrective Maintenance* pada Mesin *Rotogravure* di PT Bukit Muria Jaya-Kudus (Studi Kasus pada PT Bukit Muria Jaya-Kudus) **Carina Eka Putri, Ratna Purwaningsih**	TP-33
Kajian Pendahuluan *Life Cycle Assessment* pada Produk Kertas Daur Ulang (Studi Kasus PT. Papertech Magelang) **Cici Finansia, Bertha Maya Sopha**	TP-41
Hubungan Persepsi Metodologi ASD Tim Proyek terhadap *Maturity* ASD dan Keberhasilan Proyek di Indonesia **Citra Nudiasari, Budi Hartono**	TP-48
Analisis Proses Produksi *Combustion Chamber* Menggunakan Metode *Lean Manufacturing* dengan Pendekatan Simulasi **Evi Febianti, Yusraini Muharni, Adityo Widianto**	TP-60
Penggunaan Konsep FMEA (*Failure Mode Effect and Analysis*) dalam Pencegahan Kerusakan Mesin pada Pabrik Karet PT. Bakrie Sumatera Plantations (BSP) Kisaran **Farida Ariani, Khawarita Siregar, Khalida Syahputri, Mangara M Tambunan, Kiswanto Marino Sihombing**	TP-71
Analisis Penyebab Kegagalan Proses Pengadaan di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta dengan Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* **Finiesa Septi Aulia, Darminto Pujotomo**	TP-86
Usulan Perbaikan Cacat *Over Gap* pada Proses *Lower Sub Assy* Menggunakan Metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) **Hendro Prassetiyo, Arie Desrianty, Muhammad Dimas Triraharjo**	TP-102
Pengembangan *Lean Healthcare Assessment Tool* pada Rumah Sakit **I G B Budi Dharma, Dimas Ugroseno**	TP-118
Peningkatan Kualitas Kain Tekstil Solid dengan Menggunakan Pendekatan *Six Sigma* pada Unit *Finishing And Printing* di PT. XYZ **Ibnu Abdul Rosid, Kifayah Amar**	TP-125

ISBN 978-602-73461-8-5

Judul dan Penulis	Halaman
Usulan Perbaikan Kualitas Baja dengan Metode *Statistical Quality Control* (SQC) dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) di PT. Growth Sumatera Industry **Khawarita Siregar, Khalida Syahputri, Rahmi M Sari, Indah Rizkya Tarigan, Farida Ariani, Novi Andri**	TP-135
Usulan Perawatan *Equipment Universal Preparing Stand* Menggunakan *Reliability Block Diagram* di PT.X **Maria Ulfah, Putro Ferro Ferdinant, Nadhilah Zahrina**	TP-144
Perbaikan Kualitas Ikan Bandeng dengan Pendekatan *Seven Tools* di Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Lumpur Gresik **Moh. Ririn Rosyidi, Hermanto**	TP-156
Pengukuran Kepuasan Pelanggan Melalui Integrasi *Importance Performance Analysis* dan Model Kano **Nuraida Wahyuni, Iqbal, Ratna Ekawati, Akbar Gunawan**	TP-166
Identifikasi Faktor yang Mempengaruhi Produktivitas Pabrik CPO **Nurhayati Sembiring, M. Imam Ramzani**	TP-174
Upaya Peningkatan Kualitas Produk *Hollow Core Slab* Menggunakan Metode *Six Sigma* di PT Beton Elemenindo Perkasa **Prasetyo Utomo, Dyah Ika Rinawati, Diana Puspita Sari**	TP-182
Penjadwalan Perawatan *Preventive Maintenance Replacement* dan Penentuan Kebutuhan *Spare Part* pada Mesin *Craneship Unloader* **Putro Ferro Ferdinant, Evi Febianti, Ade Irman Saeful M, Angga Syahreza Putra**	TP-193
Analisis *Reliability* Sistem dengan *Reliability Block Diagram* pada PT. X **Rifda Ilahy Rosihan, Hari Agung Yuniarto**	TP-209
Evaluasi Manajemen Risiko Sistem Rantai Dingin pada Industri Es Kristal (Sebuah Studi Kasus) **Siti Febrianti Tafnar, Prima Denny Sentia, Nur Izzaty**	TP-215
Proses dan Permasalahan Implementasi Standar GS1 di Usaha Kecil dan Menengah (UKM) (Studi Kasus: KSU Keju Boyolali) **Tegar Yuli Arianto, Yusuf Priyandari, Pringgo Widyo Laksono**	TP-228

M – MANUFAKTUR

Judul dan Penulis	Halaman
Penentuan Analitik Frekuensi Alami dan Modus Getar Tabung Motor Roket Rx 320 dengan Metode Holzer **Agus Budi Djatmiko**	M-1
Pengaruh Konsentrasi *Bombyx Mori Silk Fiber* Terhadap Kekuatan Fleksural *Fiber Reinforced Composite Bone Graft* **Muhammad Kusumawan Herliansyah, Rifki Moechtar, Siti Sunarintyas**	M-10

ISBN 978-602-73461-8-5

Judul dan Penulis	Halaman
Penentuan Faktor dan Level Faktor Proses Keramik *Tableware* Untuk Mengurangi Cacat *Pinhole* Menggunakan *Response Surface Methodology* **Vincentius Chrisaldy Susanto, Hari Adianto, Cherish Rikardo**	M-17

ISBN 978-602-73461-8-5

ER – ERGONOMI

Departemen Teknik Mesin dan Industri FT UGM
ISBN 978-602-73461-8-5

Identifikasi Keandalan Operator dengan Pendekatan Kognitif pada Departemen Sewing

Agustina Hotma Uli T.[1)], Andi R. Wijaya[2)], I G.B. Budi Dharma[2)]
1). Jurusan Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Kampus Pendidikan Sari Mulia Banjarmasin,Jl. Pramuka No.2 Pemurus Luar Banjarmasin Kalimantan Selatan 70238 Telp. 05113250308
E-mail: agustina.hotma@gmail.com
2). Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No.2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281 Telp.0274513665

Intisari

Industri Tekstil dan Produk Tekstil (Industri TPT) adalah salah satu industri perintis dan tulang punggung manufaktur Indonesia. PT. Dan Liris Surakarta adalah perusahaan tekstil yang memproduksi pakaian jadi yang diekspor ke beberapa negara. Perusahaan ini memiliki 4 (empat) divisi yaitu Divisi Spinning, Weaping, Garment dan Textile. Divisi Garment memiliki 5 (lima) departemen dimana Departemen Sewing terindentifikasi tingkat error di atas target reworknya yaitu sekitar 1,5%. Departemen Sewing memiliki 18 line yang terbagi menjadi 2 (dua) jenis line yang mengerjakan model yang sama (similiar model) dan model yang bervariaasi (variety model) dalam proses produksinya. Pada similiar model yang dikerjakan oleh Line A1 dan A7 memiliki produktivitas hanya 77,14% (di bawah persentasi target perusahaan sebesar 80%). Operator pada Line A1 dan A7 melakukan pekerjaan (task) yang berulang-ulang (continuous process) dengan operator dan mesin yang sama. Dengan permasalahan di atas maka perlu dilakukan penelitian untuk mengukur tingkat error yang terjadi beserta keandalan operator sewing sehingga dapat dipakai sebagai landasan untuk mengidentifikasi peningkatan produktivitas kerja operator pada Departemen Sewing PT. Dan Liris Surakarta. Metode penelitian ini menggunakan metode keandalan manusia (Human Reliability Assessment) yaitu Cognitive Reliability Error Analysis Method (CREAM) untuk mengukur keandalan operator dalam mengerjakan task. Fault Tree Analysis (FTA) digunakan sebagai teknik untuk menganalisis hubungan sebab akibat suatu resiko maupun pengukuran keandalan. Hasil yang diperoleh berupa nilai probilitas kegagalan operator (Human Error Probabilitas/HEP) dalam mengerjakan task tersebut. Analisis HEP dengan menggunakan Metode CREAM diperoleh bahwa untuk Line 1 sebesar 0,011 sedangkan Line A7 sebesar 0,013. Kedua line ini termasuk dalam mode kontrol oportunistik. Sedangkan untuk analisis HEP dilihat dari masing-masing tasknya dengan menggunakan Metode FTA, Line A1 nilai HEPnya sebesar 0,269 sedangkan Line AA7 sebesar 0,233.

Kata Kunci: sewing, Metode CREAM, HEP, task, FTA.

1. Pendahuluan

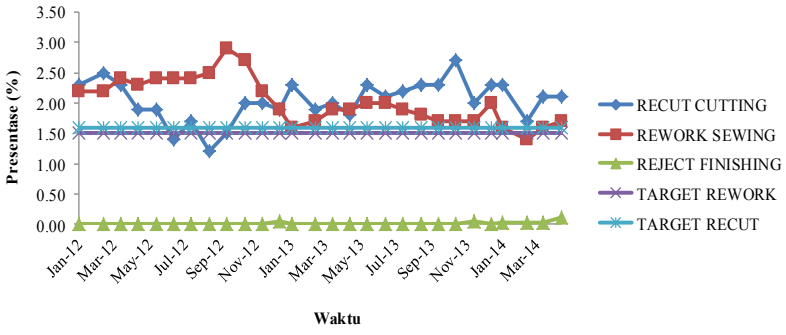
Pengukuran produktivitas dilakukan sebagai cara peningkatan dan perbaikan produktivitas. Produktivitas menurut Wignjosoebroto (1995) diartikan sebagai perbandingan antara nilai yang dihasilkan suatu kegiatan terhadap nilai semua masukan yang digunakan dalam melakukan kegiatan tersebut. Sutrisno (2007) mengatakan bahwa produktivitas tenaga kerja yang tinggi merupakan salah satu variabel penting dalam

ISBN 978-602-73461-8-5

keunggulan persaingan. Pusat Humas Kemenakertrans (2013) menyatakan bahwa berdasarkan analisis International Labour Organization (ILO) pada tahun 2009 menempatkan Indonesia berada di posisi 83 dari 124 negara. Menurut Prabowo (2013) bila ekonomi bertumbuh maka pendapatan negara meningkat dan sejahtera.

Industri tekstil dan produk tekstil atau lebih dikenal dengan Industri TPT adalah salah satu industri perintis dan tulang punggung manufaktur Indonesia. Posisi strategis industri ini semakin tampak nyata jika ditinjau dari sisi kontribusinya terhadap perekonomian khususnya dalam bentuk pendapatan ekspor dan penyerapan tenaga kerja. BKPM (2011) menyatakan bahwa jika mencermati periode sekitar 20 tahun yang lalu perkembangan kinerja industri tekstil menunjukkan masa keemasannya, dimana pada saat itu industri ini mampu menyumbang lebih dari 35% dari total ekspor manufaktur dan penciptaan lapangan kerja terbesar di sektor manufaktur. Perkembangan ekspor garmen ke AS dan Uni Eropa pada tahun 2006 sampai 2010 menunjukkan peningkatan tiap tahunnya.

PT. Dan Liris Surakarta adalah salah satu perusahaan tekstil di Indonesia. Perusahaan ini memproduksi pakaian jadi yang diekspor ke beberapa negara, diantaranya Eropa dan Amerika. Spinning, Weaving, Garment dan Textile adalah 4 divisi yang ada di perusahaan ini. Divisi Garment memiliki 3 unit. Unit 3 adalah unit bagian perusahaan yang mengerjakan permintaan dari satu pembeli (*buyer*) yaitu Mark & Spencer. Unit 3 memiliki 5 (lima) departemen, diantaranya: Departemen Cutting, Departemen Sample, Departemen Sewing, Departemen Finishing dan Departemen Gudang. Masing-masing departemen memiliki fungsi dan tugas masing-masing. Tingkat produktivitas setiap departemen dilihat dari berapa banyak tingkat error yang terjadi. Di setiap departemen memiliki istilah untuk jenis kesalahan (*error*) yang terjadi, pada Departemen Cutting diberi nama *recut cutting*, Departemen Sewing diberi nama *rework sewing* dan Departemen Finishing diberi nama *reject finishing*. Gambar 1. merupakan tabulasi *recut cutting*, *rework sewing* dan *reject finishing* pada tahun 2012 sampai 2014.

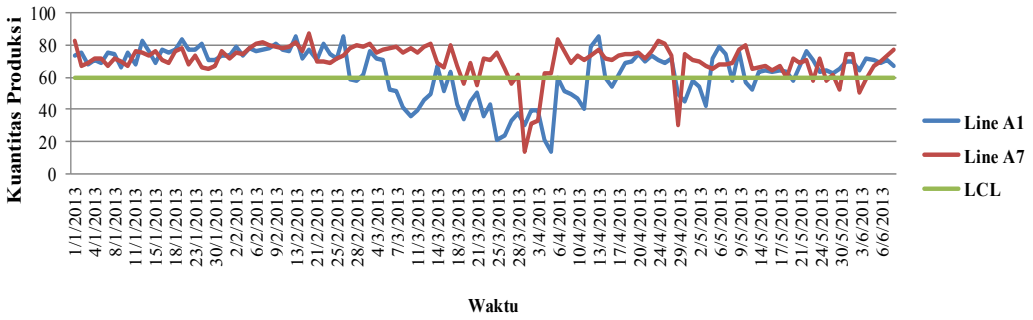


Gambar 1. Tingkat error di Departemen *Cutting*, S*ewing* dan *Finishing* pada tahun 2012 sampai 2014

Pada Gambar 1 terlihat bahwa Departemen *Sewing* memiliki *rework sewing* yang cukup tinggi dibandingkan dengan departemen yang lain. Departemen Sewing memiliki 18 line dalam proses produksinya. Ada 2 (dua) jenis line yang mengerjakan proses produksinya berdasarkan model (*style*) yaitu model yang sama (*similiar model*) dan variasi model (*variety model*). Line dengan *variety model* artinya adalah line yang mengerjakan proses produksi dengan berbeda model atau style setiap ordernya sedangkan untuk *similiar model* memiliki tingkat *style* dalam proses produksinya. Line yang khusus mengerjakan similiar model adalah Line A1 dan A7. Proses yang terjadi di sini adalah proses yang berlangsung terus menerus (*continuous process*). Setiap order memiliki *style*

ISBN 978-602-73461-8-5

yang sama sehingga operator sewing akan mengerjakan proses yang sama dan menggunakaan mesin yang sama secara berulang-ulang. Di samping itu, setiap pengambilan keputusan dalam pekerjaan *cognitive* juga mempengaruhi produksi operator perjamnya baik operator sewing itu sendiri maupun supervisornya.



Gambar 2. Produktivitas operator *sewing* pada *line* A1dan A7 perhari pada unit 3 PT. Dan Liris

Produktivitas Operator Sewing Line Perhari pada Bulan Oktober 2012 sampai Juni 2013 untuk Line A1 dan A7 adalah 22,86 % dari total produktivitas yang berada di bawah control limit. Hal ini berarti produktivitas untuk Line A1 dan A7 yang mengerjakan *continuous process* rata-rata hanya mencapai 77,14% dari persentase minimum 80% yang diinginkan oleh perusahaan. Pengaruh signifikan terhadap pengurangan hasil produksi yang ditargetkan oleh perusahaan. Penurunan produktivitas ini dipengaruhi oleh pengambilan keputusan secara kognitif (*cognitive*) yang tidak tepat dilakukan oleh operator sewing sehingga mempengaruhi produktivitas pekerja.

Tenaga kerja yang handal merupakan salah satu sumber daya penting bagi PT. Dan Liris Surakarta karena dengan tenaga kerja yang handal akan memberi kontribusi yang besar bagi perusahaan terutama dalam menghasilkan produk sesuai dengan standar dan kualitas yang baik. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan aspek-aspek kognitif yang terkait sebagai indikator pengukuran keandalan manusia, merancang kerangka pengukuran keandalan manusia berdasarkan Metode CREAM dan model prediksi kegagalan kerja untuk aspek kognitif. Dengan permasalahan di atas maka penelitian ini mengangkat bagaimana penerapan *Metode Cognitive Reliability Error Analysis Method* (CREAM) dalam mengidentifikasi faktor kognitif (*cognitive*) yang mempengaruhi produktivitas pekerja. Penelitian ini berjudul Analisis Keandalan Operator Sewing dengan pendekatan kognitif pada Industri Garment.

2. Metode

2.1. Objek dan Lokasi Penelitian

Penelitian mengenai analisis keandalan operator (*Human Reliability*) dengan pendekatan kognitif dilakukan di PT. Dan Liris Surakarta dimana pengamatan dilakukan operator pada Line A2 dan A7 Unit 3. Pengumpulan data merupakan rekapitulasi yang didapat berdasarkan hasil penelitian utama. Dari penelitian pertama didapatkan data primer dan sekunder, kondisi kerja di Departemen Sewing Unit 3 Mark & Spencer PT. Dan Liris Surakarta, identifikasi kesalahan yang pernah terjadi di Departemen Sewing dan identifikasi sub tugas/pekerjaan (task) yang akan diteliti. Populasi pada penelitian ini sebanyak 19 orang. Oleh karena itu, data yang diambil dari 19 responden yang merupakan pekerja di Departemen Sewing Unit 3 Mark & Spencer PT. Dan Liris Surakarta dan wawancara dengan setiap kepala bagian sewing yang memiliki peranan masing-masing. Pengumpulan data ini sebagai penunjang data Metode CREAM.

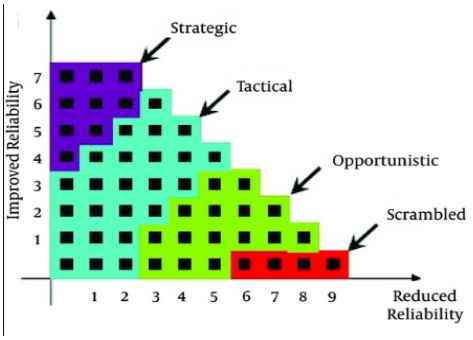
ISBN 978-602-73461-8-5

2.2. Metode Pengambilan Data

Metode *Human Reliability Assessment* (HRA) merupakan metode kualitatif dan kuantitatif untuk mengukur kontribusi manusia terhadap resiko. HRA menghasilkan nilai HEP berdasarkan parameter setiap metodenya. Nilai itu kemudian digambarkan dalam *Fault Tree Analysis* (FTA). FTA mendeskripsikan potensi tingkat kehandalan operator dengan pohon kegagalan. Dalam penelitian Nugroho dkk (2011) mencoba menganalisa dan mengidentifikasi akar penyebab masalah dari rendahnya daya saing Susu Sapi Indonesia terhadap Susu Sapi Import pada Industri Pengolahan Susu (IPS) dengan menggunakan FTA. Bourouni (2013) menjabarkan Metode *Reliability Block Diagram* (RBD) dengan FTA dalam menganalisis ketersediaan air bersih di Kuwait selama 4 tahun untuk mengidentifikasi pompa yang bertekanan tinggi yang memiliki hubungan signifikan dengan ketersediaan air. Adi (2012) mengaplikasikan FTA pada proyek konstruksi dengan analisis ergonomi untuk mengukur potensi kecelakaan kerja yang terjadi sehingga potensi kecelakaan kerja tersebut dapat diminimalkan.

Metode *Cognitive Reliability Error Analysis Method* (CREAM) adalah teknik yang digunakan dalam bidang penilaian HRA dengan tujuan untuk mengevaluasi kemungkinan kesalahan manusia yang terjadi pada semua penyelesaian tugas tertentu. Konsep *cognitive* disertakan dalam model melalui penggunaan empat mode control dasar yang mengidentifikasi perbedaan tingkat kontrol dimana operator memiliki konteks tertentu dan karakteristik yang menyoroti terjadinya kondisi yang berbeda. Mode kontrol yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut:

a. *Scrambled control* yaitu pilihan tindakan yang akan datang dan tidak dapat diprediksi atau serampangan. Situasi tersebut dapat menggambarkan perubahan cara cepat yang tak terduga sehingga menghilangkan kemampuan operator atau kesempatan untuk melakukan tindakan yang diperlukan selanjutnya.
b. Kontrol oportunistik yaitu tindakan selanjutnya ditentukan oleh situasi dasar seperti melalui kebiasaan atau pencocokan kesamaan. Situasi ini ditandai dengan kurangnya perencanaan dan mungkin karena kurangnya waktu yang tersedia.
c. Kendali taktis yaitu kinerja yang biasanya mengikuti prosedur yang direncanakan, sementara beberapa penyimpangan masih mungkin terjadi.
d. Pengendalian strategis yaitu waktu tersedia banyak untuk mempertimbangkan tindakan yang akan diambil dengan tujuan yang lebih luas yang harus dipenuhi dan dalam konteks tertentu.



Gambar 3. Hubungan Nilai CPC dengan *Control Modes*

CREAM menggunakan model kognisi yaitu *Control Model Contextual* (Cocom). Cocom berfokus pada bagaimana tindakan yang dipilih dan mengasumsikan bahwa tingkat kontrol yang operator miliki lebih dari tindakan yang merupakan variabel dan tingkat kontrol operator yang dilakukan untuk menentukan keandalannya. Cocom

ISBN 978-602-73461-8-5

menguraikan empat mode pengendalian, scramble, kontrol oportunistik, kontrol taktis dan kontrol strategis.

Fault Tree Analysis (FTA) merupakan metode untuk mengetahui pola kegagalan. FTA pertama kali dikembangkan pada U.S Air Force pada tahun 1962 oleh Bell Telephone Laboratories. FTA merupakan salah satu teknik analisa logika yang menggunakan simbol yang ditemukan pada area operation research. Definisi FTA merupakan pendekatan top-down untuk menganalisa kegagalan, dimulai dengan kejadian potensial atau kecelakaan yang disebut dengan top event dan menetapkan cara kejadian itu bisa terjadi (Rausand, 2005). FTA banyak digunakan sebagai teknik untuk menganalisa hubungan sebab akibat pada suatu resiko maupun pengukuran keandalan.

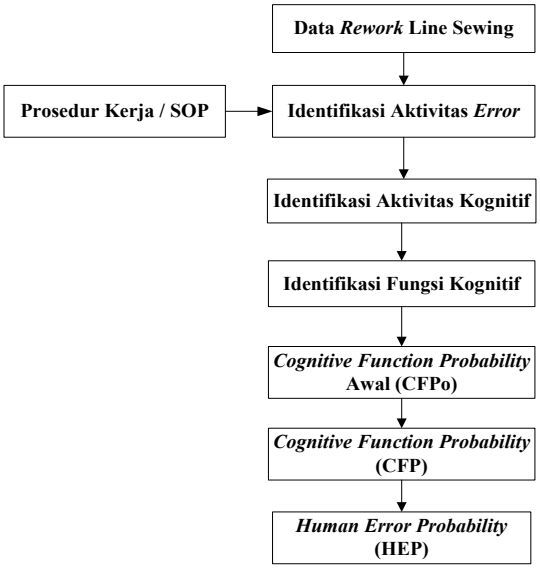
Langkah-langkah yang dilakukan dalam FTA yaitu:

a. Mendefinisikan sistem, potensi kecelakaan atau top event dan batasan kondisi.
b. Membangun pola kegagalan.
c. Mengidentifikasi minimal *cut sets*.
d. Analisa kualitatif pada pola kegagalan.
e. Analisa kuantitatif pada pola kegagalan.
f. Melaporkan hasil (Rausand, 2005)

Tahapan pada FTA juga mencakup analisa kualitatif dan analisa kuantitatif terhadap pola kegagalan. Analisa kualitatif Fault Tree dapat dilakukan berdasarkan minimal cut set. Cut set bergantung pada jumlah basic event di dalam cut set. Analisa kuantitatif merupakan suatu perhitungan probabilitas berdasarkan logika pada FTA. Analisa kuantitatif ini dibagi menjadi dua perhitungan yakni untuk AND-gate dan OR-gate.

2.3. Tahapan Penelitian

Dalam pembagian task apabila operator sewing dalam melakukan task berdasarkan faktor kognitif (*context*) yaitu faktor keputusan berdasarkan pertimbangan peraturan perusahaan, instruksi dari Kepala Sewing, prosedur dan sebagainya maka metode pengukuran keandalan yang digunakan adalah Metode CREAM. Alat penelitiannya adalah data operator sewing sebagai pengaruh context dan Tabel CREAM. Pada tahapan ini dilakukan identifikasi detail prosedur (SOP) terkait *error* yang terjadi dihubungkan dengan fungsi kognitif yang tidak sesuai. Adapun diagram alir HEP untuk Metode CREAM terlihat pada Gambar 3.



Gambar 4. Diagram alir HEP untuk metode CREAM

ISBN 978-602-73461-8-5

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Perhitungan Reliabilitas Operator Sewing dengan Metode CREAM

Metode CREAM merupakan metode keandalan dengan menggunakan fungsi kognitif.

Langkah-langkah yang digunakan dalam Metode CREAM adalah sebagai berikut:

a. Data prosedur aktivitas operator sewing pada Line A1 dan A7
   Data prosedur yang digunakan dalam penelitian ini adalah data prosedur operator sewing pada Line A1 dan A7. Prosedur aktivitas operator sewing pada Line A1 merupakan penjabaran dari Task 1. Jahit Klim Bawah, Task 2. Jahit Pasang Kerah (*Collar*), Task 3. Jahit Pasang *Cuff*, Task 4. Jahit *Sideseam* dan Task 5. Jahit Pasang Kancing *(Button*). Tabel 1 menjabarkan setiap *task* yang ada di Line A1 menjadi *sub task*. Setiap pekerjaan yang dilakukan dibuat lebih rinci dibeberapa *sub task* nya. Begitu juga pada Line A7 dengan prosedur aktivitas operator sewing yang dilakukan pada Line A7 adalah Task 1. Jahit Pasang *Cuff*, Task 2. Jahit Klim Bawah, Task 3. Jahit *Sideseam* dan Task 4. Jahit Pasang Kerah (*Collar*). Hasil kegiatan kognitif terhadap fungsi COCOM terlihat pada Tabel 1.
b. Membangun profil tuntutan kognitif
   Kegiatan tersebut dilakukan dengan mencocokkan ke Tabel Matrix Permintaan Kognitif oleh Hollnagel (1998). Pencocokan setiap kegiatan kognitif dapat mudah dilakukan secara otomotis dengan menggunakan fungsi Cocom terdapat pada Tabel 1.
c. Identifikasi kemungkinan kegagalan fungsi kognitif
   Hal serupa dilakukan dengan memasukkan langkah-langkah yang dilakukan setiap *task* pada sebelah kiri kolom tabel. Kegiatan kognitif yang ada kemudian dijabarkan dalam Tabel Fungsi Umum Kegagalan Kognitif oleh Hollnagel (1998).
   Pada kondisi di atas menggambarkan kegagalan fungsi kognitif yang paling kredibel terkait dengan pengamatan yang diperlukan dan kelalaian operator dalam melakukan *task* tersebut. Akumulasi jumlah setiap kegagalan direpresentasikan dalam diagram batang yang terlihat pada Gambar 4.
   Tuntutan kognitif dapat direprensentasikan dalam bentuk diagram batang permintaan kognitif seperti terlihat pada Gambar 4. Hal ini menentukan nilai relatif yang terjadi dalam *cocom function* yang merangkum permintaan kognitif. Diagram batang tersebut menunjukkkan bahwa pada Line A1, interpretasi *(interpretation*) operator sewing lebih dominan dalam kegiatan kognitif yang dilakukan. Operator sewing Line A7 lebih dominan dalam perencanaan (*planning*) dalam kegiatan kognitifnya.
   Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada Line A1 dan Line A7 memiliki perencanaan (planning) yang dominan dalam kegiatan kognitif yang dilakukan.
d. Menentukan penilaian probabilitas kegagalan (*Cognitive Failure Probability/ CFP*)
   Penetapan nominal CFP untuk setiap kemungkinan kegagalan fungsi kognitif berdasarkan Tabel CFP oleh Hollnagel (1998). Tabel tersebut menunjukkan nilai nominal untuk tingkat *error* yang terjadi pada setiap langkah dalam pengerjaan *task*. Adapun nominal CFP untuk proses pengerjaan (*task*) pada Line A1 dan A7 ditunjukkan pada Gambar 5.
e. Menentukan nilai *Common Performance Condition* (CPC)
   CPC memberikan dasar yang komprehensif dan terstruktur dengan baik, untuk mengkarakterisasi kondisi dimana performansi diharapkan. Menurut Hollnagel (1998) Metode CREAM memiliki 9 (sembilan) CPC yang terdiri dari kecukupan organisasi (*adequancy of organization*), kondisi kerja (*working condition*), kecukupan antar muka manusia-mesin dan pengukung operasional (*adequancy of man-machine interface and operational support*), ketersediaan prosedur dan rencana

ISBN 978-602-73461-8-5

(*availability of procedures and plans*), jumlah tujuan yang simultan (*number of simultaneous goals*), ketersediaan waktu (*available time*), kecukupan pelatihan dan pengalaman (*adequancy of training and experience*) dan kualitas kolaborasi tim (*crew collaboration quality*). Penilaian CFP jenis *error* berdasarkan pada nilai CFP tiap aktivitas dipengaruhi oleh nilai CFP awal (CFPo).
Keterkaitan antar aktivitas dinyatakan pararel apabila kesuksesan salah satu aktivitas menyebabkan kesuksesan bagian tersebut. He dkk (2008) mengatakan apabila kegagalan dari salah satu aktivitas menyebabkan kegagalan bagian maka hubungan antar aktivitas dinyatakan dengan hubungan seri. Kegagalan fungsi kognitif yang terkait dengan lebih dari satu CPCs hanya yang memiliki pengaruh yang kuat dan menengah yang diperhitungkan; ini dicapai dengan memiliki berat 1.0 untuk pengaruh yang lemah. Efek total dari pengaruh dari CPCs untuk setiap kegagalan fungsi kognitif ditemukan dengan mengalikan mereka. Hasilnya pengaliannya untuk Line A1 dan A7.

Ketika faktor bobot gabungan dan CFPs nominal diperhitungkan maka dapat menentukan CFPs yang sesuai dengan kondisi kerja. Setiap *task* yang terjadi baik itu di Line A1 dan A7 memiliki keterkaitan aktivitas sangat tinggi dan bersifat seri. Nilai CFP masing-masing task ditentukan berdasarkan nilai maksimum CFP aktivitas. Adapun nilai maksimum CFP aktivitas untuk masing-masing task.

ISBN 978-602-73461-8-5

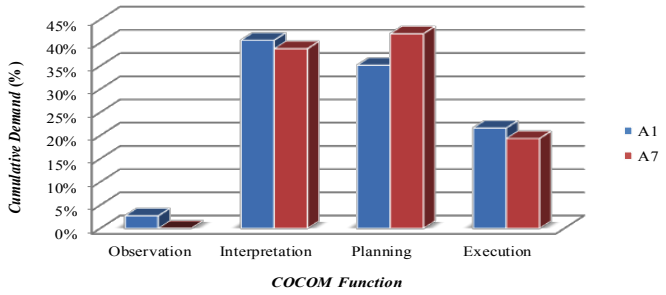
Tabel 1. Kegiatan Kognitif Operator Sewing pada Line A1 dan A7

Line A1			
Task	**Tugas**	**Sub ask**	**Cognitive Activity**
1	Jahit Klim Bawah	1.1. Mengambil garment	*plan*
		1.2. Kress sebelum klim bawah	*diagnosa*
		1.3. Plipit bawah bulat 3 mm	*evaluate*
		1.4. Sortir/cek hasil jahitan oleh operator	*evaluate*
		1.5. Meletakkan garment	*record*
2	Jahit Pasang Collar	2.1. Mengambil garment	*plan*
		2.2. Jahit lipat piping kerah	*execute*
		2.3. Blabar + stik + panil pasang kerah + jahit piping	*identity*
		2.4. Sortir/cek hasil jahitan oleh operator	*evaluate*
		2.5. Meletakkan garment	*record*
3	Jahit Pasang Cuff	3.1. Mengambil garment	*plan*
		3.2. Buka flui 2 + pasang manset kanan/kiri	*regulate*
		3.3. Sortir /cek hasil jahitan oleh operator	*evaluate*
		3.4. Meletakkan garment	*record*
4	Jahit Sideseam	4.1. Mengambil garment	*plan*
		4.2. Sideseam chainstitch L/s (lengan panjang) + tape kanan/kiri	*evaluate*
		4.3. Sortir/cek hasil jahitan kanan/kiri oleh operator	*evaluate*
		4.4. Meletakkan garment	*record*
5	Jahit Pasang Kancing	5.1. Mengambil garment	*plan*
		5.2. Pasang kancing cross untuk kerah+manset+badan depan+spare	*compare*
		5.3. Pasang kancing cross untuk split+spare	*execute*
		5.4. Sortir/cek hasil jahitan oleh operator	*evaluate*
		5.5. Meletakkan garment	*record*
Line A7			
Task	**Tugas**	**Sub ask**	**Cognitive Activity**
1	Jahit Klim Bawah	1.1. Mengambil garment	*plan*
		1.2. Kress sebelum klim bawah	*diagnosa*
		1.3. Plipit bawah bulat 3 mm	*evaluate*
		1.4. Sortir/cek hasil jahitan oleh operator	*evaluate*
		1.5. Meletakkan garment	*record*
2	Jahit Pasang Collar	2.1. Mengambil garment	*plan*
		2.2. Jahit lipat piping kerah	*execute*
		2.3. Blabar + stik + panil pasang kerah + jahit piping	*evaluate*
		2.4. Sortir/cek hasil jahitan oleh operator	*evaluate*
		2.5. Meletakkan garment	*record*
3	Jahit Pasang Cuff	3.1. Mengambil garment	*plan*
		3.2. Buka flui 2 + pasang manset kanan/kiri	*diagnosa*
		3.3. Sortir /cek hasil jahitan oleh operator	*evaluate*
		3.4. Meletakkan garment	*record*
4	Jahit Sideseam	4.1. Mengambil garment	*plan*
		4.2. Sideseam chainstitch L/s (lengan panjang) + tape kanan/kiri	*co-ordinat*
		4.3. Sortir/cek hasil jahitan kanan/kiri oleh operator	*evaluate*
		4.4. Meletakkan garment	*record*

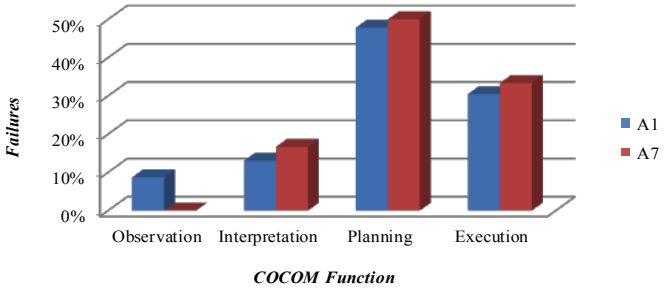
Berdasarkan keseluruhan perhitungan nilai CFP *error* pada masing-masing *task* maka dapat ditentukan nilai HEP. Secara keseluruhan semua jenis *error* memiliki

ISBN 978-602-73461-8-5

hubungan seri karena terjadi satu *error* akan menyebabkan bagian yang lain tidak dapat mengerjakan langkah selanjutnya.



Gambar 5. Permintaan kognitif operator *sewing* pada *line* A1 dan A7



Gambar 6. Fungsi Kegagalan Kognitif

Oleh karena itu keseluruhan bersifat seri dengan keterkaitan tinggi maka nilai HEP dinyatakan sebagai berikut:

Untuk Line A1

MAX {Max (Task 1.1., Task 1.2., Task 1.3., Task 1.4., Task 1.5.), (Task 2.1., Task 2.2., Task 2.3., Task 2.4., Task 2.5.), (Task 3.1., Task 3.2., Task 3.4.), (Task 4.1., Task 4.2., Task 4.3., Task 4.4.), (Task 5.1., Task 5.2., Task 5.3., Task 5.4., Task 5.5.)} = Max {Max (0,012, 0,011, 0,075, 0,013, 0,013)} = 0,011.

Besarnya nilai HEP menentukan nilai reliabilitas operator sewing. Hal ini dikarenakan kedua nilai tersebut saling mempengaruhi. Nilai HEP pada Line A1 sebesar 0,011 berarti besarnya nilai probabilitas *error* yang dilakukan oleh operator sewing adalah 1,1% dari produk yang dihasilkan. Maka dapat dinyatakan besarnya nilai reliabilitas operator sewing pada Line A1 adalah 98,9%. Artinya 100% - 1,1% = 98,9%

Untuk Line A7

MAX {Max (Task 1.1., Task 1.2., Task 1.3., Task 1.4., Task 1.5.), (Task 2.1., Task 2.2., Task 2.3., Task 2.4., Task 2.5.), (Task 3.1., Task 3.2., Task 3.4.), (Task 4.1., Task 4.2., Task 4.3., Task 4.4.)} = Max {Max (0,013, 0,019, 0,0013, 0,019)} = 0,013.

Nilai HEP pada Line A7 sebesar 0,013 berarti besarnya nilai probabilitas *error* yang dilakukan oleh operator sewing adalah 1,3% dari produk yang dihasilkan. Maka dapat dinyatakan besarnya nilai reliabilitas operator sewing pada Line A1 adalah 98,7%. Artinya 100% - 1,3% = 98,7%. Hasil yang diperoleh nilai Line A7 ini lebih tinggi dibandingkan pada Line A1.

Dari analisis nilai reliabilitas dan fungsi kognitif berdasarkan Tabel Control Mode oleh Hollnagel (1998) maka dapat disimpulkan bahwa pada Line A1 dan A7

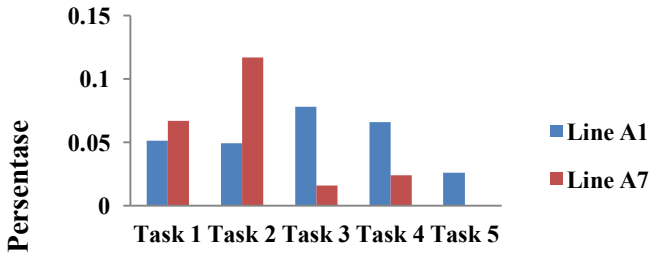
ISBN 978-602-73461-8-5

nilai HEP untuk 0,011 dan 0,013 berada pada range 0,01<p<0,5 yaitu di Mode Kontrol Oportunistik. Mode Kontrol Oportunistik merupakan modus kontrol dimana pilihan tindakan tidak efisien, oleh karena itu probabilitas kesuksesannya terbatas. Perencanaan antisipasi yang ada kurang baik, hal ini mungkin disebabkan karena waktu yang tersedia terbatas atau karena konteks yang belum dipahami. Kemungkinan lain yang meungkin mempengaruhi adalah kompetensi yang kurang baik, kondisi yang berubah-ubah dan kondisi kerja yang buruk.

HEP adalah probabilitas kesalahan yang dilakukan oleh manusia dalam kurun waktu tertentu. Perbandingan nilai HEP Line A1 dan A7 untuk masing-masing task pada Line A1 dan A7 dengan menggunakan Metode CREAM terlihat pada Gambar 6.

Pada Line A1, task yang memiliki potensial kegagalan terbesar adalah task 3. Task 3 mengerjakan jahit pasang *cuff*. *Cuff* merupakan bagian lengan dari baju dimana ada bagian membuka flui dan memasang *cuff* yang memerlukan ketelitian. Faktor kesalahan yang sering terjadi adalah hasilnya tidak sesuai dengan kualitas yang diinginkan. Operator memerlukan keterampilan khusus untuk mengerjakan *cuff* ini.

Pada Line A7, task yang memiliki potensial kegagalan yang cukup tinggi adalah task 2. Task 2 mengerjakan jahit pasang *collar*. Pemasangan *colla*r terdiri 5 (lima) bagian task untuk menghasilkan jahitan kerah yang baik. *Rework* sering terjadi karena *collar* yang sudah terpasang tidak sesuai dengan kualitas yang diinginkan. Operator sering melakukan kesalahan ketika setik jahitan tidak rapi karena loncat, bagian dalam kerah (panil) dipasang ke kerah dan jahit melipat di bagian klim bawah lengan. Hal ini dipengaruhi oleh tingkat ketelitian operator ketika mengerjakan bagian *task* tersebut. Biasanya *task* ini dikerjakan oleh operator senior.



Gambar 7. Perbandingan nilai HEP *line* A1 dan A7 dengan menggunakan metode CREAM

3.2. Hasil analisis *rework line* A1 dan A7 menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) pada metode CREAM

Peluang rework pada Line A1 yang diukur dengan menggunakan Metode CREAM yakni sebesar 0,269. Pada line ini terdapat 5 (lima) jenis *task* yang menunjukkan jenis rework yang sering terjadi. Nilai HEP tertinggi untuk jenis *task* yang terjadi di Line A1 adalah Task 3. Jahit pasang *cuff* sebesar 0,078.

Peluang rework pada Line A7 yang diukur dengan menggunakan Metode CREAM yakni sebesar 0,233. Pada line ini terdapat 4 (empat) jenis *task* yang menunjukkan jenis rework yang sering terjadi. Nilai HEP tertinggi untuk jenis task yang terjadi di Line A7 adalah Task 4. Jahit Pasang *Collar* sebesar 0,117.

Terlihat bahwa rework Line A1 lebih besar dari Line A7. Hal ini disebabkan karena *task* yang dikerjakan di Line A1 lebih banyak dibanding Line A7. Faktor yang mempengaruhi

ISBN 978-602-73461-8-5

kuantitas kesalahan dalam melakukan *task* adalah tingkat pengalaman kerja dan tingkat keahlian operator dalam mengerjakan *task* tersebut.

4. Kesimpulan dan Saran

Analisis HEP dengan menggunakan Metode CREAM diperoleh bahwa untuk Line A1 sebesar 0,011 sedangkan Line A7 sebesar 0,013 Kedua line ini termasuk dalam mode kontrol oportunistik. Sedangkan untuk analisis HEP dilihat dari masing-masing *task* nya dengan menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA), Line A1 nilai HEP nya sebesar 0,269 sedangkan Line A7 sebesar 0,233.

Saran : Penelitian ini lebih berfokus pada HEP pada Departemen Sewing, disarankan untuk penelitian selanjutnya untuk meneliti bagian lain di departemen yang terkait dengan Departemen Sewing sehingga dapat menunjang keberhasilan *zero error* di Unit 3 Mark & Spencer PT. Dan Liris Surakarta.

Daftar Pustaka

Adi, T., 2012, Metode Pengukuran Potensi Kecelakaan Kerja pada Proyek Konstruksi, *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW)*, ISSN 2301-6752, pp.127-134.

Bedford, T., Bayley, C. dan Revie, M., 2013, Screening, Sensitivity and Uncertainty for The CREAM Method of Human Reliability Analysis, *Journal of Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 115, pp. 100-110.

BKPM, 2011, ”Perkembangan Industri Garmen di Indonesia”. Kajian Pengembangan Industri Tekstil dan Produk Tekstil, Diakses tanggal 1 Oktober 2013, *URL:http://www.bkpm.go.id*.

Bourouni, K., 2013, Availability Assessment of A Reverse Osmosis Plant: Comparison between Reliability Block Diagram and Fault Tree Analysis Methods. *Journal of Desalination*. Vol. 331. pp. 66–76.

Farirah, T., 2014, Identifikasi dan Maksimalisasi Reliabilitas Manusis dengan Fuzzy-CREAM di PT. Primissima, *Thesis*, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

He, X., Wang, Y., Shen, Z., ad Huang, X., 2008, A Simplified CREAM Prosprective Quantification Process and Its Application, *Journal of Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 93, pp. 298-306.

Hollnagel, E., 1998, *Cognitive Reliability and Error Analysis Method*, Elsevier, Norwegia

Novira, I., Rahman A., Sudiarno A., 2010, Perancangan Alat Ukur Human Cognitive Reliability Error and Analysis Method.

Nugroho, S., Pudjotomo, D. dan Tifani, T., 2011, Analisa Penyebab Penurunan Daya Saing Produk Susu Sapi Dalam Negeri terhadap Susu Sapi Impor pada Industri Pengolahan Susu (IPS) dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Barrier Analysis, *Jurnal Undip*, Vol. VI, No. 2, pp: 71-80.

Prabowo, P., 2013, “Presiden Meminta Buruh Tingkatkan Produktivitas”, AntarNews.com, tanggal 1 Mei 2013, Diakses pada tanggal 1 Oktober 2013, *URL: http://www.antaranews.com*.

Pusat Humas Kemenakertrans, 2013, “Kemenakertrans Targetkan 6.000 Peserta Pelatihan Jadi Wirausaha Sukses”, Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia, tanggal 8 Maret 2011, Diakses tanggal 1 Oktober 2013,*URL: http://menteri.depnakertrans.go.id*.

Sun Z., Li, Z., Gong, E. dan Xie, H, 2013, Estimating Human Error Probability using A Modified CREAM, *Journal of Reliability and System Safety*, Vol. 100, pp. 28-32.

Sutrisno, B., 2007, “Memperbaiki Kondisi Kerja di Industri Garmen melalui Pendekatan Ergonomi”.

ISBN 978-602-73461-8-5

Yang, Z., Bonsall, S., Wall, A., Wang, J. dan Usman, M., 2013, A Modified CREAM to Human Reliability Quantification in Marine Engineering, *Journal of Ocean Engineering*, Vol.58, pp. 293-303.

Wignjosoebroto, S., 2000, *Ergonomi Studi Gerak dan Waktu*, Penerbit Guna Widya, Surabaya.

ISBN 978-602-73461-8-5

Evaluasi Aktivitas *Manual Material Handling* dengan Metode *Risk Assessment in Pushing and Pulling* (RAPP)

Ani Umyati, Aristyo Widianto, Lovely Lady, Ade Sri Mariawati
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jend. Sudirman km 3, Cilegon – Banten
(0254) 395502 ext 16
E-mail: ani.umyati@untirta.ac.id

Intisari

Manual material handling didefinisikan sebagai tugas pemindahan barang, produk akhir atau benda lain yang memanfaatkan manusia sebagai sumber energi. Manual material handling tidak dapat dilepaskan dari aktivitas manusia, tetapi jika dilakukan terus menerus dan melebihi ambang batas maka berpotensi menimbulkan keluhan pada otot rangka. Duta Dharma adalah salah satu industri kecil yang masih menggunakan kegiatan penanganan material secara manual untuk memindahkan material atau produk. Proses pemindahan dilakukan oleh satu orang operator menggunakan troli dengan postur kerja membungkuk. Troli yang digunakan tidak memiliki handle yang cukup baik sehingga pada saat melakukan pemindahan operatur harus membungkuk untuk mendorong troli tersebut. Adapun berat material yang dipindahkan mencapai 50 kilogram, aktivitas ini dilakukan berulang-ulang selama 8 jam kerja per hari. Melihat pentingnya aktivitas pemindahan material dalam rangkaian proses produksi maka dirasakan perlu untuk memastikan bahwa aktivitas yang dilakukan operator aman dan tidak membahayakan. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan pemetaan keluhan dan evaluasi aktivitas manual material handling. Pemetaan keluhan dilakukan menggunakan Kuesioner Nordic Body Map sedangkan evaluasi aktivitas manual material handling menggunakan metode Risk Assessment in Pushing and Pulling (RAPP). Hasil Kuesioner NBM menunjukkan adanya keluhan yang dirasakan operator pada beberapa bagian lengan kiri atas, punggung, lengan kanan atas, pinggang, pantat kiri, pergelangan tangan, pergelangan tangan kanan, paha kiri, paha kanan dan betis kiri. Hasil penilaian RAPP menunjukkan aktivitas manual material handling yang terjadi memiliki skor akhir 15 dengan skor tebesar pada postur kerja (6), genggaman tangan (2) dan kondisi alat (3) ketiganya memiliki resiko tinggi.
Kata Kunci: Manual Material Handling, Nordic Body Map, Risk Assessment in Pushing and Pulling, Antropometri, Industri Kecil

DIPRESENTASIKAN TIDAK

1. Pendahuluan

Manual material handling didefinisikan sebagai tugas pemindahan barang, produk akhir atau benda lain yang memanfaatkan manusia sebagai sumber energi. Manual material handling tidak dapat dilepaskan dari aktivitas manusia, tetapi jika dilakukan terus menerus dan melebihi ambang batas maka berpotensi menimbulkan keluhan pada otot rangka. Kegiatan *manual material handling* tidak terlepas dari seluruh aktivitas proses produksi dan tenaga manusia, akan tetapi jika *manual material handling* dilakukan dengan cara terus menerus dan beban yang dipindahkan melebihi ambang batas akan terjadi keluhan pada sistem otot rangka. *manual material handling* apabila tidak

ISBN 978-602-73461-8-5

dilakukan secara ergonomis akan menimbulkan kecelakaan dalam bekerja, yang bisa disebut sebagai "*Over Exertion Lifting and Carying*" yaitu kerusakan jaringan tubuh yang disebabkan oleh beban angkat yang berlebihan (Nurmianto, 2003). CV Duta Dharma adalah salah satu persekutuan komanditer yang bergerak di bidang pembuatan berbagai macam jenis sabun cair. Dalam proses pembuatan sabun, hanya ada proses produksi dan proses pengemasan. Pada saat melakukan proses produksi tahap yang dilakukan adalah mengambil bahan baku yang berada di gudang dengan menggunakan alat bantu troli. Menurut pemilik pada saat melakukan proses produksi dan proses pengemasan tidak terdapat keluhan resiko cedera otot. Tetapi permasalahan yang ada pada saat para pekerja melakukan pekerjaan *manual material handling* dari gudang untuk mengambil bahan baku ke lantai produksi.

Berdasarkan penelitian Ferida (2016), kuesioner *Nordic Body Map* merupakan kuesioner yang paling sering digunakan untuk mengetahui ketidaknyamanan atau keluhan yang terjadi pada tubuh. Metode ini digunakan untuk menilai tingkat keparahan (*severity*) atas terjadinya gangguan atau cedera pada sistem *musculoskeletal*. Sedangkan penelitian Bayu Putut (2012), menjelaskan bahwa jika suatu pekerjaan dengan posisi yang buruk dapat mengakibatkan produktivitas kerja menurun, timbulnya rasa sakit yang bersifat sementara maupun permanen, dan kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja. Hasil studi pendahuluan menggunakan Kuesioner *Nordic Body Map* (NBM) menunjukkan bahwa operator mengalami keluhan pada beberapa bagian tubuh, diantaranya lengan kiri atas, punggung, lengan kanan atas, pinggang, pantat kiri, pergelangan tangan, pergelangan tangan kanan, paha kiri, paha kanan dan betis kiri. Kuesioner *Nordic Body Map* melakukan penilaian secara subjektif, sehingga keberhasilan metode ini sangat bergantung dengan situasi dan kondisi yang dialami para pekerja pada saat dilakukannya penilaian. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan upaya perbaikan pada aktivitas manual material handling yang diawali dengan evaluasi aktivitas manual material handling menggunakan metode *Risk Assessment in Pushing and Pulling* (RAPP). Penilaian ini dirancang untuk membantu menilai risiko utama dalam mendorong dan menarik secara manual serta kegiatan operasi yang melibatkan usaha seluruh tubuh misalnya memindahkan muatan troli, menyeret, mengangkut, menggeser atau menggulung beban.

2. Metodologi

Penelitian ini diawali dengan penyebaran kuesioner NBM pada operator yang melakukan aktivitas pemindahan material dari gudang menuju bagian produksi. Kuesioner NBM telah memetakan 28 segmen tubuh manusia sehingga dapat diketahui bagian-bagian tubuh yang mengalami ketidaknyamanan. Kuesioner diberikan kepada operator pemindahan material yang berjumlah 2 (dua) orang berjenis kelamin laki-laki.

Selanjutnya dilakukan penilaian terkait aktivitas manual material handling dengan menggunakan metode RAPP. Penilaian dengan metode RAPP dilakukan dengan cara mengidentifikasi seluruh pekerjaan pemindahan bahan serta lingkungan yang terdapat di CV Duta Dharma. Penilaian meliputi 9 hal, yaitu penilaian terkait jenis alat dan massa beban, penilaian postur kerja, penilaian genggaman tangan alat yang digunakan, pola kerja, jarak perpindahan, penlaian kondisi alat, permukaan lantai, penghambat rute dan penilaian faktor lainnya. Kesembilan penilaian tersebut menggunakan standar yang sudah ditentukan, sehingga peneliti harus mampu mencocokan kondisi yang ada dengan kategori-kategori yang sudah menjadi standar dari Metode RAPP. Hasil penilaian metode RAPP berupa skor dan kategori resiko untuk setiap penilaian berupa kategori aman hingga paling berisko berupa warna hijau, kuning, oranye dan merah.

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Kuesioner *Nordic Body Map*

Hasil penyebaran kuesioner *Nordic Body Map* (NBM) pada operator pemindahan material telah memetakan 28 segmen tubuh manusia sehingga dapat diketahui bagian-bagian mana saja dari para pekerja yang mengalami keluhan. Berdasarkan hasil kuesioner *Nordic Body Map* diketahui bahwa gangguan dengan persentase tertinggi (6,25%) yang dialami oleh operator berupa gangguan pada bagian pada bagian lengan atas kiri, punggung, lengan atas kanan, pinggang, bokong, pergelangan tangan kiri, pergelangan tangan kanan, paha kiri, paha kanan, betis kiri, betis kanan, pergelangan kaki kiri, dan pergelangan kaki kanan. Gangguan yang dialami oleh operator dikarenakan postur operator dalam melakukan *manual material handling* dengan posisi yang tidak baik dan kurangnya ketersediaan fasilitas kerja.

3.2. Hasil Evaluasi Risk Assessment In Pushing and Pulling (RAPP)

3.2.1. Penilaian Jenis Alat dan Massa beban

Adapun hasil penilaian jenis alat dan massa beban yang dipilih dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel.1 Penilaian jenis alat dan massa beban

Nilai	Keterangan
Low G/0	Kurang dari 250 Kg
Medium A/2	250 Kg – 500 Kg
High R/4	500 Kg – 750 Kg
Very High R/8	Lebih dari 750 Kg
Unacceptable P	Beban melebihi kapasitas alat (berat beban maksimum manufaktur yang direkomendasikan)

Dari Tabel.1 dapat disimpulkan bahwa jenis alat yang dipakai di CV Duta Dharma termasuk kedalam jenis alat medium karena alat bantu yang digunakan terdiri dari empat roda, dengan massa beban yang didorong kurang dari 250 kg. Hal ini sesuai dengan kondisi yang ada pada CV Duta Dharma dimana operator hanya mendorong beban seberat 50kg, dengan menggunakan sistem pemindahan material berupa troli (Suhardi, 2008).

3.2.2. Penilaian Postur

Tahap kedua pada metode RAPP (*Risk Assessment of Pushing and Pulling*) adalah dengan cara menilai postur kerja operator pada saat melakukan proses pemindahan bahan. Berikut ini adalah gambar postur kerja operator pemindahan bahan.

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Gambar 1. Postur kerja manual material handling

Proses pemindahan bahan dilakukan oleh satu operator, dengan cara mendorong troli dengan posisi postur kerja membungkuk, den posisi genggaman tangan yang tidak nyaman. Hasil yang didapat postur kerja yang dialami operator termasuk kedalam kategori buruk dan dapat menyebabkan cidera. Sehingga mendapatkan hasil skor enam dan diberi tanda berwarna merah. Dikarenakan, posisi tubuh operator membungkuk lebih dari 20º sehingga postur tersebut jangga dan dapat menyebabkan keluhan otot sistem rangka (Humantech, 1995)

Tabel. 2 Hasil Penilaian Postur Kerja

Nilai	Keterangan
Good G/0	1. Punggung sebagian besar tegak 2. Punggung tidak memutar 3. Tangan diantara tinggi pinggang dan pundak
Reasonable A/3	1. Badan cenderung condong ke arah tujuan 2. Punggung terkadang membungkuk atau memutar 3. Tangan dibawah tinggi pinggang
Poor R/6	1. Badan seringkali condong, atau pekerja berjongkok, berlutut atau mendorong dengan punggung mereka menekan beban 2. Punggung seringkali membungkuk atau memutar 3. Tangan disamping atau pada salah satu sisi tubuh atau diatas tinggi pundak

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa jenis postur yang di dapat pada CV Duta Dharma termasuk kedalam kategori buruk, dikarenakan posisi tubuh operator termasuk pada posisi punggung yang seringkali membungkuk atau memutar

3.2.3. Penilaian Genggaman Tangan

Posisi genggaman tangan operator pada saat melakukan proses pemindahan material menggunakan troli yang ada.

DIPRESENTASIKAN TIDAK

ISBN 978-602-73461-8-5

Gambar 2. Posisi genggaman tangan operator

Gambar 2 menunjukkan bahwa jenis pegangan tangan yang terjadi termasuk kedalam kategori buruk, dikarenakan tidak terdapat pegangan tangan *(handle)* pada saat operator melakukan proses pemindahan bahan, sehingga menyebabkan operator tidak nyaman pada saat melakukan aktivitas mendorong. Adapun hasil penilaian jenis pegangan tangan dapat dilihat pada tabel 3

3.2.4. Penilaian Pola Kerja

Penilaian pola kerja meliputi pengulangan pekerjaan serta waktu istirahat yang dialami oleh operator. Adapun hasil jenis pola kerja yang dipilih oleh peneliti melalui wawancara dapat dilihat pada tabel 4. Berdasarkan Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa jenis pola kerja yang didapat pada CV Duta Dharma termasuk kedalam kategori masuk akal, dikarenakan pada hasil wawancara operator menjawab pekerjaan pada proses pemindahan bahan dilakukan secara berulang-ulang dan terdapat pemulihan istirahat secara formal ketika setelah melakukan proses pemindahan bahan. Berdasarkan table 4 hasil skor satu dan diberi tanda berwarna oranye.

Tabel 3. Hasil Penilaian Genggaman Tangan

Nilai	Keterangan
Good G/0	Terdapat *handle* atau area pegangan tangan yang memudahkan kekuatan pegangan tangan untuk menarik atau kenyamanan tangan menarik atau mendorong
Reasonable A/1	Terdapat area pegangan tangan, tetapi hanya memungkinkan pegangan sebagian. Seperti jari-jari pada sudut 90° atau sebagian kontak tangan untuk mendorong
Poor R/2	Tidak terdapat *handle* atau kontak tangan yang ada sangat tidak nyaman

Tabel 4. Hasil Penilaian Pola Kerja

Nilai	Keterangan
Good G/0	Pekerjaan tidak berulang
	Kecepatan kerja dapat diatur oleh pekerja
Reasonable A/1	Pekerjaan berulang
	Tetapi terdapat kesempatan untuk istirahat atau pemulihan istirahat secara formal maupun informal
Poor R/3	Pekerjaan berulang

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

	Tidak formal/informal atau terdapat peluang rotasi pekerjaan

3.2.5. Penilaian Jarak Perpindahan

Tahap selanjutnya pada metode RAPP (*Risk Assessment of Pushing and Pulling*) adalah dengan cara menilai jarak perpindahan pada saat operator melakukan proses pemindahan bahan dengan cara mengukur menggunakan meteran dari gudang ke bagian produksi. Hasil pengukuran menunjukkan jarak antara gudang dan bagian produksi sejauh 12 m, sehingga penilaian jarak perpindahan menghasilkan skor 1 dengan warna oranye. Hasil penilaian terdapat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Penilaian Jarak Perpindahan

Nilai	Keterangan
Short G/0	Kurang dari 10 m
Medium A/1	Antara 10 m – 30 m
Long R/3	Lebih dari 30 m

3.2.6. Penilaian Kondisi Alat

Hasil penilaian kondisi alat yang ada termasuk kedalam kategori buruk, dikarenakan pada hasil wawancara operator menjawab tidak mengikuti SOP yang berlaku dan bagi operator perawatan alat tidak terlalu penting. Hasil penilaian terdapat pada Tabel 6 dengan skor 3 dan diberi tanda merah.

3.2.7. Penilaian Permukaan Lantai

Penilaian permukaan lantai dilakukan dengan mengamati kondisi sekitar area perpindahan, adapun kondisi permukaan lantai yang ada di CV. Duta Darma adalah seperti yang tergambar pada Gambar 3.

Gambar 3. Kondisi Permukaan lantai

Melihat kondisi permukaan lantai pada gambar 3, maka penilaiannya termasuk kedalam kategori masuk akal, dikarenakan permukaan lantai di sekitar proses pemindahan bahan tergolong basah dan kering dibeberapa titik area. Berdasarkan tabel penilaian RAPP didapat skor satu dan diberi tanda berwarna oranye.

Tabel 6. Penilaian kondisi alat

Nilai	Keterangan
Good G/0	Perawatan terencana dan mencegah
	Alat dalam kondisi perbaikan yang baik
Reasonable A/1	Perawatan terkadang mengalami masalah

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Nilai	Keterangan
	Alat dalam kondisi perbaikan yang biasa saja
Poor R/3	Perawatan tidak direncanakan (tidak ada sistem pembersihan)
	Alat dalam kondisi perbaikan yang buruk

Tabel 7. Penilaian permukaan lantai

Nilai	Keterangan
Good G/0	Kering dan bersih
	Bertingkat
	Kuat
	Kondisi baik (tidak berbahaya)
Reasonable A/1	Mendekati kering atau bersih (basah dibeberapa area)
	Miring (sudut antara 3° – 5°)
	Cukup kuat
	Kondisi buruk (sedikit berbahaya)
Poor R/4	Terkontaminasi (basah dan lumuh di semuaa area)
	Sangat miring (lebih dari 5°)
	Rapuh atau tidak stabil
	Kondisi sangat buruk (sangat berbahaya)

3.2.8. Penilaian Penghambat Rute

Penilaian penghambat rute dilakukan dengan mengevaluasi lingkungan kerja sekitar area kerja, penghambat rute bisa berupa keberadaan tangga ataupun permukaan yang miring yang dimungkinkan akan menghambat proses pemindahan material yang dilakukan. Adapun hasil penilaian penghambar rute pada area ini terdapat pada Tabel 8.

Tabel 8 Penilaian Penghambat Rute

Nilai	Keterangan
Good G/0	Tidak ada hambatan
Reasonable A/2	Terdapat satu hambatan tapi tidak ada tangga maupun landai yang curam
Poor R/3	Terdapat tangga, landaian curam atau lebih tipe penghambat

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa jenis penghambat rute yang terdapat pada CV Duta Dharma termasuk kedalam kategori baik, dikarenakan lingkungan di sekitar proses pemindahan bahan tidak ada hambatan rute pada saat operator melakukan proses pemindahan bahan. Sehingga menghasilkan skor nol dan diberi warna hijau.

3.2.9. Penilaian Faktor Lainnya

Penilaian faktor lainnya dilakukan dengan melihat faktor-faktor selain delapan (8) faktor yang sudah didefinisikan dalam metode RAPP. Hasil wawancara dengan operator, faktor lain yang dirasakan berpengaruh adalah berat beban pada saat pemindahan

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

material. Sehingga penilaian faktor lainnya dikategorikan masuk akal (*Reasonable)* seperti yang tertera pada Tabel 9.

Tabel 9. Penilaian Faktor Lainnya

Nilai	Keterangan
Good G/0	Tidak ada
Reasonable A/1	Terdapat satu factor
Poor R/2	Terdapat dua atau lebih factor

3.2.10. Rekapitulasi Hasil Penilaian Metode RAPP

Tabel 10. Rekapitulasi Hasil Penilaian RAPP

No	Penilaian	Kategori	Nilai
1	Jenis Alat dan Massa Beban	Rendah	0
2	Postur	Buruk	3
3	Genggaman Tangan	Buruk	2
4	Pola Kerja	Masuk Akal	1
5	Jarak Perpindahan	Sedang	1
6	Kondisi Alat	Buruk	3
7	Permukaan Lantai	Masuk akal	1
8	Penghambat Rute	Baik	0
9	Faktor Lainnya	Masuk Akal	1
	TOTAL		**15**

Dari tabel diatas diketahui bahwa aktivitas manual material handling yang terjadi memiliki skor akhir 15 dengan skor tebesar pada postur kerja (6), genggaman tangan (2) dan kondisi alat (3) ketiganya memiliki resiko tinggi, sehingga memerlukan upaya perbaikan lebih lanjut. Salah satu cara untuk mengurangi keluhan resiko cedera pada proses *manual material handling* adalah dengan melakukan perancangan alat. Pendekatan kajian ergonomi yang bisa digunakan dalam melakukan perancangan alat adalah antropometri. Pada dasarnya antropometri digunakan untuk pengukuran dimensi tubuh manusia dalam perancangan peralatan dan fasilitas kerja, sehingga dapat sesuai dengan pemakainya (Tarwaka, 2015). Upaya perbaikan yang dapat dilakukan adalah dengan merancang ulang troli yang digunakan dalam pemindahan material. Operator pemindahan material membutuhkan *handle* troli untuk memudahkan proses pemindahan, hal ini disebabkan posisi tubuh operator membungkuk lebih dari 20º dan terdapat keluhan sistem otot rangka, sedangkan posisi tubuh membungkuk tidak boleh lebih dari 20º (Baird, 1995)

4. Kesimpulan dan Saran

Operator manual material handling di CV Duta Dharma mengeluhkan keluhan pada bagian lengan kiri atas, punggung, lengan kanan atas, pinggang, pantat kiri, pergelangan tangan, pergelangan tangan kanan, paha kiri, paha kanan dan betis kiri.Sedangkan Hasil penilaian RAPP menunjukkan aktivitas *manual material handling* yang terjadi memiliki skor akhir 15 dengan skor tebesar pada postur kerja (6), genggaman tangan (2) dan kondisi alat (3) ketiganya memiliki resiko tinggi dan memerlukan upaya perbaikan dengan segera. Upaya yang dapat dilakukan dengan melakukan perancangan ulang troli yang digunakan dalam proses pemidahan material.

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Daftar Pustaka

Baird Peterson. 1995. *The Ergonomic PC: Creating a Healthy Computing Environment. 1st Edition*. New York.

Humantech. 1995. *Applied Ergonomics Training Manual. Second Edition*. Barkeley Australia: Humantech Inc.

Iridiastadi, Hardianto. 2014. Ergonomi Suatu Penerapan. Bandung: PT. Remaja Sodakarya.

Kristianto Agung & Dianasa Adhi Saputra. 2011. Perancangan Meja dan Kursi yang Ergonomis pada Stasiun Kerja Pemotongan Sebagai Upaya Peningkatan Produktivitas. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri Vol. 10, No. 2*. Yogyakarta. Universitas Ahmad Dahlan.

NIOSH. 2007. *Simple Solutions: Ergonomics for Constrction Workers*. NIOSH: Departement of Health and Human Services.

Nurmianto, Eko. 2003. Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasinya. Surabaya: Guna Widya.

RAPP sheet. 2016. http://hse.gov.uk/pubns/indg478.pdf. diakses pada tanggal 22 Maret 2018.

Suhardi B. 2008. Perancangan sistem kerja dan ergonomi. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.

Sutalaksana, Iftikar Z., Ruhana Anggawisastra, Jann H. Tjakraatmadja. 2006. Teknik Perancangan Sistem Kerja. Bandung: Intitut Teknologi Bandung.

Tarwaka. 2015. Dasar-dasar Pengetahuan Ergonomi dan Aplikasi di Tempat Kerja Edisi II. Surakarta: Harapan Press.

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Analisis Perbandingan Metode Penilaian Postur Kerja Menggunakan OWAS, RULA, REBA dan ROSA

Ardania Meilaningrum, Ratna Purwaningsih
Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
Telp. (024) 7465403
E-mail : ardaniameilaningrum@gmail.com

Intisari

Postur kerja merupakan titik penentu dalam menganalisa keefektifan dari suatu pekerjaan. Apabila postur kerja yang dilakukan pekerja sudah baik, maka sudah dipastikan hasil kerja oleh pekerja tersebut akan baik, begitu pun sebaliknya. Apabila postur kerja pekerja tidak ergonomis, maka hasil pekerjaan tersebut mengalami penurunan baik dari segi performansi kerja dan akan merasakan mudah kelelahan dan ketidaknyamanan. Selain itu, apabila dibiarkan akan berpotensi menyebabkan penyakit akibat kerja yaitu Musculoskeletal Disorder pada pekerja. Oleh sebab itu, banyak metode yang dikembangkan untuk menganalisis postur kerja aktivitas pekerja atau operator. Metode ataupun evaluasi ergonomi tentu penting dilakukan untuk menentukan tindakan perbaikan dari faktor-faktor beresiko tinggi seperti pekerjaan yang tidak aman dan sehat serta beresiko. Metode evaluasi postur kerja ergonomi tersebut diantaranya adalah Rapid Upper Limb Assessment, Rapid Entire Body Assessment, Ovako Working posture Assessment System dan Rapid Office Strain Assessment. Paper ini membandingkan metode-metode tersebut dengan mengevaluasi input, proses (metode), outputnya serta bagian-bagian tubuh yang masuk dalam skor penilaian pada masing-masing metode. Hasil dari studi perbandingan ini adalah dapat ditemukan temuan metode postur kerja baru yaitu ROSA yang berfokus pada lingkup perkantoran dengan pemberian total skor tindakan langsung.

Kata kunci : OWAS, REBA, RULA, ROSA

1. Pendahuluan

Musculoskeletal disorder biasanya terjadi di bagian leher, punggung dan anggota bagian atas ketika melakukan pekerjaan dalam jangka waktu yang lama. Tak hanya itu, segala aktivitas yang dilakukan dengan postur kerja yang salah juga dapat berdampak kepada karakteristik individu, seperti *ergonomic risk factor* dan produktivitas kerja perusahaan. Kesalahan postur kerja dapat ditemukan dalam berbagai macam aktivitas MMH. Aktivitas MMH biasanya menimbulkan resiko *low back pain*. Data mengenai insiden tersebut telah mencapai rata-rata 18% dari seluruh kecelakaan selama tahun 1982-1985 menurut data statistik tentang kompensasi para pekerja dibagian New South Wales, Australia. Data kecelakaan ini 93% diantaranya diakibatkan oleh *strain* (rasa nyeri yang berlebihan) sedangkan 5% lainnya karena hernia. Dari data strain 61% diantaranya berada pada bagian punggung (Nurmianto, 1996). Mengingat aktivitas MMH mempunyai peranan vital dalam pekerjaan yang dilakukan di bagian proses produksi, maka telah banyak dilakukan penelitian untuk menganalisis postur kerja baik pada aktivitas di depan komputer dalam perkantoran dengan merekomendasikan perbaikan postur dan ruang kerjanya. Metode yang digunakan untuk menganalisis postur kerja diantaranya adalah

ISBN 978-602-73461-8-5

Rapid Upper Limb Assessment, Rapid Entire Body Assessment, Ovako Working posture Assessment System dan *Rapid Office Strain Assessment.*.

Tulisan ini akan menganalisis dan mengevaluasi metode-metode tersebut dengan membandingkan input, proses, output, aplikasinya di dunia industri. Analisis postur kerja untuk meminimalisasi terjadinya cidera pada punggung (LBP) telah dilakukan dengan berbagai metode, yaitu sebagai berikut :

a. Metode OWAS
   Metode OWAS telah diaplikasikan pada tahun tujuh puluhan di perusahaan besi baja di Finlandia. *Institute of Occupational Health* menganalisis postur seluruh bagian tubuh dengan posisi duduk dan berdiri. Metode ini juga telah digunakan untuk menganalisis postur di Indonesia, dengan menggunakan OWASCA (OWAS *Computer-Aided*), yakni metode OWAS yang diintegrasikan dengan komputer (Ojanen, et al, 2000). Analisis dilakukan pada seluruh bagian tubuh pada posisi duduk dan berdiri. Input metode OWAS adalah sebagai berikut :
   1. Data postur punggung
   2. Data postur lengan.
   3. Data postur kaki
   4. Data berat beban yang diangkat.
b. Metode REBA
   Pada tahun 1995, McAtamney dan Hignett memperkenalkan metode *Rapid Entire Body Assesment* (REBA). Metode tersebut dapat digunakan secara cepat untuk menilai postur seorang pekerja. Selain itu, metode REBA tepat untuk menganalisa aktivitas baik MMH yang dominan menggunakan tubuh bagian atas karena tubuh bagian atas dianalisa secara detail. Namun analisa sudut postur tubuh pada metode REBA belum lengkap, oleh karena itu pada tahun 1993 metode ini disempurnakan oleh Dr. Lynn Mc Atamney dengan memunculkan metode RULA.
c. Metode RULA
   Metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) merupakan metode cepat penilaian postur tubuh bagian atas. Input metode ini adalah postur (telapak tangan, lengan atas, lengan bawah, punggung dan leher), beban yang diangkat, tenaga yang dipakai (statis/dinamis), jumlah pekerjaan. Metode ini menyediakan perlindungan yang cepat dalam pekerjaan seperti resiko pada pekerjaan yang berhubungan dengan *upper limb disorders*, mengidentifikasi usaha yang dibutuhkan otot yang berhubungan dengan postur tubuh saat kerja (penggunaan kekuatan dan kerja statis yang berulang). Input postur metode RULA dibedakan menjadi 2 grup yaitu grup A (lengan atas dan bawah dan pergelangan tangan) dan grup B (leher, tulang belakang dan kaki).
d. Metode ROSA
   Metode ROSA merupakan metode yang masih terbilang baru dan diciptakan oleh Michael Sonne, dkk pada tahun 2012. Para penemu ini menciptakan boring (*form)* guna mengidentifikasi resiko ergonomik perkantoran dengan cepat dan mudah yang kemudian dinamakan *Rapid Office Strain Assesment* (ROSA). ROSA adalah metode pengambilan kesimpulan yang dirancang untuk mengukur tingkat faktor risiko dalam lingkungan kerja pada penggunaan komputer yang berbasis checklist postur serta penetapan tindakan berdasarkan laporan ketidaknyamanan pekerja (Sonne, Villalta, & Andrews, 2012). Terdapat 3 pendekatan dalam ROSA ceklist, diantaranya ialah :
   1. Kursi
   2. Telepon dan Monitor
   3. *Keyboard* dan *Mouse*

ISBN 978-602-73461-8-5

Faktor risiko pada metode ROSA akan diberikan nilai yang meningkat dari 1 sampai 3. Metode ROSA terbukti baik dalam menganalisa resiko ergonomik dengan nilai reliabilitas dan validitas yang tinggi. Dalam penerapannya, ROSA serupa dengan RULA (*Rapid Upper Limb Assessment)* ataupun REBA (*Rapid Entire Body Assessment),* hanya saja ROSA difokuskan untuk aktivitas di kantor.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan dengan mengidentifikasi parameter-parameter yang berkaitan dengan risiko terjadinya penyakit-penyakit atau cedera otot rangka. Setelah diperoleh sejumlah parameter yang diperlukan, selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap sejumlah metode evaluasi postur berupa *review* dari beberapa literatur dan bukan merupakan penelitian yang membahas tentang studi kasus. Terdapat beberapa parameter utama dalam skor penilaian yang digunakan untuk dianalisis dan dibandingkan dengan metode-metode evaluasi postur:

1. Punggung
2. Tangan
3. Kaki
4. Leher
5. Pergelangan Tangan
6. Durasi Kerja
7. Berat Beban / Beban Kerja
8. Sensitivitas Total Skor

Penelitian Terdahulu

Penelitian ini membandingkan keempat metode yaitu OWAS, REBA, RULA dan ROSA berdasarkan literatur sebelumnya. Metode OWAS telah diaplikasikan di Malaysia untuk merancang stasiun kerja (Hasan, et al, 2002). Hasil dari perancangan stasiun kerja dengan metode OWAS dapat mengurangi posisi kerja yang berbahaya dari 80% menjadi 66%. Selain di Malaysia, metode ini juga menghasilkan perancangan fasilitas kerja yang ergonomis pada PT. Centra Anggrek setelah diketahui postur kerja yang salah menggunakan metode OWAS (Yufus, et al, 2018).

REBA telah diaplikasikan pada operator komputer dengan menggunakan metode REBA dengan menghasilkan perbaikan postur kerja (Mira, 2015). Penelitian tersebut akhirnya menghasilkan usulan atau rekomendasi seperti substitusi alat baik perangkat komputer ataupun peralatan pendukung seperti kursi dan meja yang ergonomis sesuai anthropometri Indonesia.

Metode RULA telah diaplikasikan pada postur pekerja konveksi (Evan, et al, 2004) dan pekerjaan administrasi (Torik, 2015) di Jakarta. Selain itu, penelitian ini telah diterapkan untuk menganalisis postur pekerja patung primitif di Kasongan, Jogjakarta. Analisis dilakukan di 6 stasiun kerja dan postur berbahaya dominan terjadi di stasiun kerja *finishing* dan pemindahan material (Setyaningrum, 2004).

Metode terakhir yaitu ROSA telah diaplikasikan pada departemen yang ada di PT. XYZ dalam penelitian Rosma, dkk tahun 2014 dan pekerja di biro Administrasi Akademik (BAA) (Titin, Purwanto, 2017). Perbaikan yang dilakukan adalah dengan perbaikan fasilitas yang digunakan pekerja sesuai dengan standar ergonomi dan melakukan sosialisasi kepada pekerja tentang pentingnya sikap kerja ergonomi.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari analisis keempat metode dapat ditunjukkan dengan tabel seperti berikut ini berdasarkan parameter yang telah ditentukan pada metode penelitian.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 1. Perbandingan Metode OWAS, RULA, REBA, dan ROSA

Metode / Faktor Analisis		OWAS	RULA	REBA	ROSA
Penemu		Karhu et al., 1977	McAtamney and Corlett, 1993.	Hignett and McAtamney, 1995/2000	Michael Sonne, 2010
Parameter Penilaian	**Skor**				
	Punggung (*Trunk*)	(+) 1-4	(+) 1-6	(+) 1-5	(+) 1-4
	Lengan (*Arms*)	(+) 1-3	Upper Arm : (+) 1-6 Lower Arm : (+) 1-3	Upper Arm : (+) 1-6 Lower Arm : (+) 1-2	(+) 1-5
	Kaki (*Legs*)	(+) 1-7	(+) 1-2	(+) 1-4	(+) 1-8
	Leher (*Neck*)	-	(+) 1-6	(+) 1-3	(+) 1-9
	Pergelangan Tangan (*Wrist Arm*)	-	Wrist Position : (+) 1-4 Wrist Twist : (+) 1-2	(+) 1-3	Mouse : (+) 1-7 Keyboard : (+) 1-7
	Durasi Kerja	-	(+) 1-3	(+) 1	(+) (-1)-1
	Berat Beban / Beban Kerja	(+) 1-3	(+) 1-3	(+) 1-3	-
	Sensitivitas Total Skor	(+) 1-4	(+) 1-7	(+) 1-15	(+) 1-10
Parameter Tambahan					
	Posisi Asimetri	✓	✓	✓	✓
	Pegangan/Kopling			✓	
	Resiko	✓	✓	✓	✓
	Saran Tindakan	✓	✓	✓	✓
	Penggunaan	Evaluasi postur dengan beban	Evaluasi postur dengan beban	Evaluasi postur dengan beban	Evaluasi postur dengan penggunaan komputer
Ruang Lingkup		Lantai Produksi dan aktivitas pada umumnya	Lantai Produksi dan aktivitas pada umumnya	Lantai Produksi dan aktivitas pada umumnya	Perkantoran

ISBN 978-602-73461-8-5

a. Punggung

OWAS	RULA	REBA	ROSA
Skor nilai dari 1 hingga 4 dengan kriterianya ialah posisi punggung yang lurus bernilai 1, membungkuk bernilai 2, memutar atau miring ke samping bernilai 3 dan gabungan dari kriteria 2 dan 3 bernilai 4	Jumlah skor bagian tubuh punggung pada metode ini ialah 6, dengan kriterianya yaitu posisi badan/punggung yang tegak 0º bernilai 1, membungkuk ke depan membentuk sudut sebesar 20º bernilai 2, membungkuk ke depan membentuk sudut antara 20-60º bernilai 3, dan membungkuk ke depan membentuk sudut melebihi 60º benilai 4.	Jumlah skor bagian tubuh punggung pada metode ini ialah 6, dengan kriterianya yaitu posisi badan/punggung yang tegak 0º bernilai 1, membungkuk ke depan membentuk sudut sebesar 20º bernilai 2, membungkuk ke depan membentuk sudut antara 20-60º bernilai 3, dan membungkuk ke depan membentuk sudut melebihi 60º benilai 4.	Sandaran punggung berkisar antara 95º dan 110º untuk skor 1, tidak terdapat sandaran tulang belakang atau sandaran hanya menyangga sebagian punggung, sudut yang dibentuk sandaran kursi melebihi 110º atau sudut kursi terlalu maju ke depan sehingga kurang dari 95º, tidak ada sandaran punggung sama sekali atau posisi pekerja bersandar ke depan sehingga untuk masing-masing pilihan tersebut bernilai skor 2

b. Lengan

OWAS	RULA	REBA	ROSA
Kedua lengan/tangan berada di bawah level ketinggian bahu untuk skor 1, satu lengan berada di atas level ketinggian bahu untuk skor 2, dan kedua tangan berada di atas level ketinggian bahu untuk skor 3	Lengan atas yang membentuk sudut 20º dengan titik pusat pada titik tengah tubuh untuk skor 1, lengan melakukan kegiatan *extension* melebihi sudut 20º ke belakang tubuh atau lengan atas membentuk sudut berkisar 20-45º ke depan untuk skor bernilai 2, tangan membentuk sudut berkisar 45-90º untuk skor 3, dan tangan membentuk sudut -90º untuk skor 4	Lengan atas yang membentuk sudut 20º dengan titik pusat pada titik tengah tubuh untuk skor 1, lengan melakukan kegiatan *extension* melebihi sudut 20º ke belakang tubuh atau lengan atas membentuk sudut berkisar 20-45º ke depan untuk skor bernilai 2, tangan membentuk sudut berkisar 45-90º untuk skor 3, dan tangan membentuk sudut -90º untuk skor 4	aspek kursi dengan skor maksimal senilai 5 yang terdiri atas siku tersangga dengan baik, rileks, dan sejajar dengan bahu untuk skor 1, dan siku terlalu tinggi, bahu terangkat/terlalu turun atau tidak adanya penyangga lengan untuk skor 2

ISBN 978-602-73461-8-5

c. Kaki

OWAS	RULA	REBA	ROSA
pekerja dalam posisi duduk untuk skor 1, berdiri dengan keadaan kedua kaki lurus untuk skor 2, berdiri dengan beban berada pada salah satu kaki untuk skor 3, berdiri dengan kedua kaki lutut sedikit tertekuk untuk skor 4, berdiri dengan satu sambal sedikit tertekuk untuk skor 5, jongkok dengan satu dan/atau dua kaki untuk skor 6, dan bergerak atau berpindah dengan skor 7	Lengan atas yang membentuk sudut 20º dengan titik pusat pada titik tengah tubuh untuk skor 1, lengan melakukan kegiatan *extension* melebihi sudut 20º ke belakang tubuh atau lengan atas membentuk sudut berkisar 20-45º ke depan untuk skor bernilai 2, tangan membentuk sudut berkisar 45-90º untuk skor 3, dan tangan membentuk sudut -90º untuk skor 4	posisi kaki yang lurus untuk skor nilai 1, posisi kaki yang ditekuk untuk skor nilai 2 dengan kegiatan tambahan apabila posisi kaki yang ditekuk dalam sudut kisaran 30-60º untuk penambahan skor sebesar 1 dan apabila posisi kaki ditekuk lebih dari 60º untuk penambahan skor sebesar 2	aspek tinggi kursi dan lebar dudukan dengan jumlah skor maksimal yaitu 8. Ketinggian kursi berdasarkan pada kegiatan yang terdiri dari lutut membentuk 90º untuk skor 1, kursi terlalu rendah sehingga lutut membentuk sudut <90º atau kursi terlalu tinggi sehingga lutut membentuk sudut > 90º untuk skor 2, dan kaki tidak menapak ke lantai untuk skor 3. Aspek lebar dudukan terdiri dari aktivitas seperti jarak antara lutut dan ujung kursi sekitar 7,62 cm untuk skor 1, dudukan kursi terlalu panjang ke depan/sempit (jarak antara lutut ke permukaan dudukan kursi kurang/lebih dari 7,62 cm) untuk nilai skor 2 dan kursi tidak dapat diatur sehingga perlu menyesuaikan dudukan kursi untuk kegiatan tambahan dengan penambahan skor 1

ISBN 978-602-73461-8-5

d. Leher

OWAS	RULA	REBA	ROSA
-	skor penilaian leher terdiri atas pembentukan sudut pada leher berkisar 10º untuk skor 1, 10-20º untuk skor 2, 20-60º untuk skor 3 dan lebih dari 60º ke depan untuk skor 4.	pembentukan sudut 10-20º untuk skor 1 dan pembentukan sudut lebih dari 20º atau leher melakukan kegiatan ekstensi ke belakang dengan skor 2	Aspek monitor dan telepon ini memiliki nilai maksimal skor 9 yang terdiri atas jarak antara pekerja dengan monitor sepanjang lengan (40 – 75 cm), *eye level* untuk skor 1, monitor terlalu rendah, membentuk sudut <30º untuk skor 2, dan monitor terlalu tinggi (leher terpaksa melihat ke atas (*extension*) untuk skor 3. Kegiatan penambahan pada aspek ini terdiri dari leher berputar lebih dari 30º, terdapat pantulan cahaya ke layar monitor, dan tidak memiliki *document holder* dengan masing-masing penambahan nilainya senilai 1.

e. Pergelangan Tangan

OWAS	RULA	REBA	ROSA
-	Pada *wrist position* terdiri atas pergelangan tangan dengan sudut 0º untuk skor 1, 15º untuk skor 2, lebih dari 15º untuk skor 3 dan apabila pergelangan tangan berbelok secara horizontal maka terdapat penambahan skor nilai sebesar 1. Pada	pergelangan tangan yang membentuk sudut sekitar 15º untuk skor 1 dan pergelangan tangan yang membentuk sudut melebihi 15º untuk skor 2.	aspek penggunaan *keyboard* terdiri dari pergelangan lurus, bahu rileks untuk skor 1, pergelangan terangkat <15º serta sudut *keyboard* terlalu miring untuk skor 2 dan sisanya merupakan kegiatan tambahan.

ISBN 978-602-73461-8-5

OWAS	RULA	REBA	ROSA
	wrist twist terdiri atas pergelangan tangan yang diputar untuk skor 1 dan apabila pergelangan tangan ditekuk dari garis tengah untuk skor 2.		

f. Durasi Kerja

OWAS	RULA	REBA	ROSA
-	RULA terdiri dari pekerjaan yang sebentar-sebentar, tetap/berulang serta tetap/syok akan goncangan	durasi kerja semakin jelas dengan penambahan skor masing-masing 1 tergantung kondisinya yang terdiri dari satu atau bagian tubuh digunakan lebih dari 1 menit (tetap/statis), pekerjaan dengan *range* waktu kecil namun berulang, dan pekerjaan yang menyebabkan perubahan rentang postur yang cepat dalam jumlah besar atau dasar yang tidak stabil.	faktor durasi kerja pada setiap akhir perhitungan masing-masing aspek. Klasifikasi durasi kerja pada metode ROSA dibagi menjadi 3 yaitu apabila kurang dari 30 menit terus menerus maka mendapatkan skor -1, apabila diantara 30 menit dan 1 jam terus menerus atau diantara 1-4 jam per hari maka mendapatkan skor 0, dan apabila lebih 1 jam terus menerus atau lebih dari 4 jam per hari maka mendapatkan skor 1.

g. Beban Kerja

OWAS	RULA	REBA	ROSA
OWAS, kriteria beban kerja terbagi menjadi lebih dari 10 kg untuk skor 1, 10-20 kg untuk skor 2, dan lebih dari 20 kg untuk skor 3	apabila berat beban kerja pekerja kurang dari 2 kg secara sebentar-sebentar untuk skor 0, berat beban kerja pekerja diantara 2 kg dan 10 kg secara statis untuk skor 1 dan	Beban kerja tersebut terdiri apabila berat beban kurang dari 5 kg untuk skor 0, berat beban diantara 5 kg dan 10 kg untuk skor 1 serta berat beban lebih dari 10 kg untuk	-

ISBN 978-602-73461-8-5

OWAS	RULA	REBA	ROSA
	kegiatan statis dan berulang untuk skor 2 serta apabila berat beban kerja lebih dari 10 kg syok dan berulang diberikan skor senilai 3	skor 2.	

h. Sensitivitas Total Skor
Berikut adalah penjabaran klasifikasi dari sensitivitas total skor dari metode OWAS, RULA, REBA dan ROSA beserta tindakan penanganan resikonya.

Tabel 2. Perbandingan Total Skor dan Tindakan Penanganan Resiko

OWAS		RULA		REBA		ROSA	
Skor	**Tindakan**	**Skor**	**Tindakan**	**Skor**	**Tindakan**	**Skor**	**Tindakan**
1	Bisa diterima jika tidak berulang dan periode lama	1-2	Bisa diterima jika tidak berulang dan periode lama	1	Tidak perlu diabaikan	1-2	Rendah
2	Perlu pemeriksaan lanjutan dan perubahan-perubahan	3-4	Perlu pemeriksaan lanjutan dan perubahan-perubahan	2-3	Perubahan mungkin dibutuhkan	3-4	Sedang
3	Pemeriksaan dan perubahan perlu dilakukan segera	5-6	Pemeriksaan dan perubahan perlu dilakukan segera	4-7	Investigasi lebih lanjut, perlu perbaikan	5-7	Tinggi, apabila lebih dari 5 berindikasi membutuhkan penanganan penilaian ergonomi yang lebih lanjut dan pengembangan fasilitas kerja kantor
4	Pemeriksaan dan perubahan perlu dilakukan sangat segera	7	Pemeriksaan dan perubahan perlu dilakukan sangat segera	8-10	Investigasi lebih lanjut, perlu perbaikan segera	8-10	Sangat Tinggi, pengembangan dan perbaikan rekomendasi sangat urgensi dibutuhkan
				11-15	Investigasi lebih lanjut,		

ISBN 978-602-73461-8-5

OWAS		RULA		REBA		ROSA	
Skor	**Tindakan**	**Skor**	**Tindakan**	**Skor**	**Tindakan**	**Skor**	**Tindakan**
					perlu perbaikan langsung		

Metode-metode evaluasi ataupun penilaian postur kerja semakin mengalami perbaikan dan penyempurnaan dari waktu ke waktu sesuai kebutuhan. Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya waktu tidak dapat menjamin metode yang ada ikut diperbarui dan mengalami peningkatan. Hal tersebut didukung pada tabel 1 yang tidak semakin penuh dari kolom sebelah kiri ke kolom berikutnya. Apabila diambil contoh, metode ROSA justru tidak mempertimbangkan faktor beban dimana ketiga metode lainnya memiliki faktor tersebut. Di sisi lain, faktor prioritas memang tidak dimiliki pada keempat metode tersebut karena tidak adanya tingkat resiko antara satu faktor resiko dengan faktor resiko lain yang muncul pada suatu postur pekerjaan yang membutuhkan penanganan terlebih dahulu sebelum yang lainnya ditangani atau diperbaiki. Pada metode REBA, metode ini merupakan satu satunya metode yang memiliki aspek pegangan/kopling yang dapat membedakan cara membawa benda oleh pekerja yang berkaitan dengan tekstur, permukaan atau letak. Di satu sisi, faktor penilaian kopling pada metode REBA yang berkisar 0-2 terdiri dari jenis kopling *good* yaitu pegangan yang pas dan cengkraman tangan dalam jangkauan menengah untuk skor 0, cara membawa yang dapat diterima namun tidak memiliki pegangan / kopling tangan yang ideal untuk skor 1 dan pegangan tidak dapat diterima untuk skor maksimal yaitu 2. Lain halnya dengan faktor posisi asimetri. Keempat metode tersebut mempertimbangkan sudut sebagai penentu jumlah skor dalam penilaian.

Ketidakadaan beberapa faktor seperti beban dan pegangan pada metode ROSA sebenarnya diperlihatkan kembali dengan seberapa penting faktor tersebut dibutuhkan dalam ruang lingkup ROSA. Metode ROSA tersebut lebih sering digunakan pada area perkantoran dan tergolong pada *office ergonomic*, sehingga postur kerja hanya fokus pada penggunaan alat kerja seperti kursi, monitor, telepon, *keyboard* dan *mouse* tanpa ada keterkaitan dengan berat beban yang dibawa. Metode ROSA juga tidak memerlukan proses pengangkatan karena pengamatannya hanya sebatas menggunakan peralatan komputer. Begitu juga pada faktor pegangan yang berhubungan dengan proses pengangkatan.

Namun di satu sisi apabila dengan memasukkan ketiga faktor tersebut ke dalam daftar periksa, dan menyampaikannya kepada operator, dapat diharapkan terhindarnya operator tersebut dari resiko cedera otot rangka meskipun tidak seurgensi penggunaannya. Berikut penjelasannya:

a. **Prioritas,** dari sejumlah metode evaluasi postur yang dibahas pada tulisan ini, tidak ada satupun yang memberikan fasilitas atau langkah prioritisasi perbaikan terhadap elemen-elemen postur. Misalnya jika pada suatu postur kerja terdapat lebih dari satu elemen postur yang beresiko tinggi terhadap terjadinya cedera otot rangka (misalnya postur leher, bahu, punggung dan beban), maka seharusnya terdapat prioritas elemen postur yang harus terlebih dahulu diperbaiki sebelum yang lainnya jika keseluruhannya tidak memungkinkan untuk diperbaiki secara bersama-sama karena sifat pekerjaan.

ISBN 978-602-73461-8-5

b. **Postur yang Tidak Umum, s**elain itu, 3 metode dari 4 metode penilaian postur kerja yang ada, tak satupun yang cukup umum atau generik, untuk dapat mengevaluasi postur pekerjaan yang dilakukan seperti contoh oleh montir, seperti bekerja sambil berbaring di kolong kendaraan, atau tukang tambal ban yang bekerja sambil berjongkok, pelajar yang belajar sambil telungkup di lantai atau di tempat tidur. Metode ROSA sebagai salah satu metode diantara 4 metode dalam tulisan ini menjadi salah satu metode yang telah memfokuskan penilaian postur kerja ke dalam satu aspek yaitu ergonomi perkantoran. Ke depan, sejumlah metode penilaian postur kerja yang disebut pada paragraf ini dapat dipertimbangkan untuk diperhatikan dan dicarikan faktor yang relevan untuk pengembangan metode evaluasi postur yang lebih baik. Indonesia, sebagai negara berkembang, banyak terdapat profesi non formal, dimana peluang terdapatnya postur-postur yang kurang lazim dapat terjadi.

c. **Penggunaan ROSA,** penggunaan ROSA dapat digunakan untuk mengidentifikasi tugas atau postur yang membutuhkan peralatan komputer sebagai peralatan utama dalam bekerja khususnya memasuki revolusi 4.0 ini. Selain itu, faktor perhatian juga dibutuhkan apabila sudah ada pekerja yang mengeluhkan ketidaknyamanan atau merasakan sakit karena melakukan tugas tersebut. Kelemahannya, hasil skor metode ini tidak banyak yang tergolong pada skor yang rendah sekali ataupun tinggi sekali berdasarkan penelitian oleh Sonne. Hal itu menyebabkan kesulitan dalam mengenali postur atau tugas yang "buruk", yang berpotensi menyebabkan sakit atau cedera pada otot rangka atau MSDs. Hal ini yang membedakan ROSA dengan ketiga metode lainnya dalam tulisan ini. Kedua, karena ini adalah metode subjektif, sangat bergantung pada karakteristik fisik orang pekerja, cara atau sikap orang tersebut, latar belakangnya, perilaku atau kebiasaan orang tersebut di lingkup perkantoran. Akibatnya, bisa muncul bias pengukuran oleh sebab-sebab di luar pekerjaan.

d. **Posisi Asimetri**, pada metode evaluasi OWAS, RULA, REBA dan ROSA terdapat pengelompokan risiko postur anggota badan berdasarkan sudut yang dibentuk oleh anggota badan dengan suatu posisi acuan. Hanya saja, penentuan besarnya sudut dilakukan oleh pengamat hanya berdasarkan intuisi atau perkiraan saja. Hal ini bisa mengurangi akurasi perhitungan resiko. Sebagai solusi adalah penggunaan kamera perekam untuk mengambil gambar postur dan selanjutnya besarnya sudut diambil dengan menggunakan busur derajat pada foto postur. Di samping itu, untuk meningkatkan akurasi dapat pula dipakai metode perekaman dengan menggunakan penanda optik ataupun infra merah yang dipasang pada ujung-ujung segmen tubuh, yang dihubungkan dengan perangkat lunak. (Jumeno, 2017).

4. Kesimpulan dan Saran

Hasil analisis dan evaluasi dari keempat metode tersebut adalah bahwa setiap metode memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing dalam perhitungan skor postur kerja manusia. Oleh sebab itu muncul metode baru yang akan memperbaiki dan atau menambahkan ide baru, seperti metode OWAS diperbaharui oleh REBA, REBA diperbaharui oleh RULA dan RULA yang disempurnakan lagi dengan munculnya metode ROSA dengan fokus pada ergonomi perkantoran. Dari Tabel 1, dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya waktu tidak dapat menjamin metode yang ada ikut diperbarui dan mengalami peningkatan. Hal tersebut didukung pada tabel yang tidak semakin penuh dari kolom sebelah kiri ke kolom berikutnya. Pada dasarnya dari penelitian berupa *literature review* ini, analisis perbandingan dari keempat metode masih belum dikatakan sempurna.

ISBN 978-602-73461-8-5

Keempat metode tersebut dipilih berdasarkan metode postur kerja yang sudah sering digunakan dalam proses penelitian.

Daftar Pustaka

Chaffin dan Anderson, 1991, *Okupasi Biomekanika*, 2nd ed, John Willey & Sons, New York.

Evan, A., Sejati, K., dan Arya, D., 2004, *Analisis Postur Kerja Pada Pekerja Konveksi Menggunakan Metode RULA*, Prosiding Seminar Ergonomi, 487-494.

Yufus Dio, M, dkk, 2017, *Perancangan Fasilitas Kerja yang Ergonomis Berdasarkan Metode Antropometri pada pekerjaan Repoting (Pemindahan Pot) di PT, Centra Anggrek,* Bandung, Prosiding Teknik Industri

Hasan, A,, Iqbal, M,, Soewardi, H,, dan Hasan, C,, 2002, *Reka Bentuk Semula Stesen Kerja Berasaskan Postur Kerja dan Produktiviti*, Prosiding Penyelidikan dan Pengembangan, 119-122,

Jumeno, Desto, 2017, *Perbandingan Metode-Metode Evaluasi Postur Kerja,* Padang, SNTI dan Satelit

Lueder, R., 1996, *A Proposed RULA for Computer Users*, Proceding of the Ergonomics Summer Workshop,

McAtamney, L., Corlett, EN,, 1993, RULA : *Survey Method for The Investigation of Work Related Upper Limb Disorder*, Applied Ergonomi, Journal of Human Ergonomics, 24(2) pp, 91-99,

Nurmianto, Eko,, 1996, *Ergonomi, Konsep Dasar dan Aplikasinya*, PT,Guna Widya, Jakarta.

O, Karhu, R, Harkonen, P, Sorvali, dan P, Vepsalainen, 1981, "*Observing Working Postures in Industry: Examples of OWAS Application,", Applied Ergonomics,* Vol, 12, pp, 13-17

Ojanen, K,, Pyykkanen, M,, Peuraniemi, A,, Suurnakki, T,, dan Keppainen, M,, 2000, OWASCA : *Computer-aided Visualizing ang Training Software for Work Posture Analysis*, Journal of Occupational Health, 273-278.

Rahayu, Mira, 2015, *Perbaikan Postur Kerja pada Operator Komputer dengan Menggunakan Metode REBA*, Bandung, Jurnal Rekayasa Sistem & Industri

Setyaningrum, R,, Soewardi, H,, 2004, *Analisis Postur Kerja Menggunakan Metode Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*, Prosiding Seminar Nasional Viable Manufacturing System, 143-146,

Sonne, M; Villalta, DL; dan Andrews, DM, 2012, "*Development and evaluation of an office ergonomic risk checklist: ROSA--rapid office strain assessment*", Applied Ergonomics, Vol, 43, No,1, January 2012, pp, 98-108

Torik, 2015, *Analisa Postur dengan Metode RULA untuk Kerja Adminitrasi,* Sinergi, Jakarta.

ISBN 978-602-73461-8-5

Analisis Sistem Tanggap Darurat pada Peristiwa Luar Biasa Hebat (PLH) di PT Kereta Api Indonesia (Persero) Daerah Operasi 5 Purwokerto

Dezembrix Taufik Muttaqin[1,2], Widodo Hariyono[1,2]
[1]Prodi Kesehatan Masyarakat, Universitas Ahmad Dahlan (UAD)
[2]Pusat Studi Keselamatan dan Kesehatan Kerja UAD
E-mail: dt.muttaqin@gmail.com

Intisari

Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian pasal 3 menjelaskan bahwa perkeretaapian diselenggarakan dengan tujuan untuk memperlancar perpindahan orang dan atau barang secara massal dengan selamat, aman, nyaman, cepat dan lancar. Keselamatan perkeretaapian di Indonesia masih membutuhkan perhatian serius, dilihat dari tingginya angka kecelakaan setiap tahunnya. Dalam perkertaapian, sebuah keadaan darurat dibutuhkan sebuah sistem tanggap darurat. Kesiapsiagaan dan tanggap darurat perlu dikembangkan menggunakan 5 langkah program manajemen tanggap darurat, yaitu (1) manajemen program, (2) perencanaan, (3) implementasi,(4) pendidikan dan pelatihan, dan (5) pengujian. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kualitatif dengan pendekatan studi kasus dan subjek penelitian berjumlah 4 orang. Penelitian ini menggunakan metode observasi, telaah dokumen dan wawancara mendalam. Analisis data kualitatif dan validitas data menggunakan teknik triangulasi sumber dan metode. Berdasarkan hasil penelitian menunjukan bahwa (1) manajemen program sudah baik dengan telah memiliki komitmen kesiapsiagaan dalam menghadapi keadaan darurat, (2) perencanaan sudah terencana baik dengan adanya penilaian risiko, dampak dan kebutuhan sumberdaya,(3) implementasi sudah berjalan baik dengan telah melakukan mitigasi dan memiliki SOP untuk menghadapi keadaan darurat,(4) pendidikan dan pelatihan telah dilaksanakan dengan baik kepada tim evakuasi sarana untuk meningkatkan kemampuan dan keterampilan dalam mengahadapi keadaan darurat, dan (5) pengujian atau simulasi untuk menghadapi keadaan darurat belum terlaksana. PT Kereta Api Indonesia (Persero) Daerah Operasi 5 Purwokerto siap dalam mengimplementasi sistem tanggap darurat dalam menghadapi Peristiwa Luar Biasa Hebat (PLH).

Kata Kunci: Kereta Api, Peristiwa Luar Biasa Hebat, Sistem Tanggap Darurat

1. Pendahuluan

Undang-undang nomor 23 tahun 2007 tentang perkeretaapian pasal 3 menjelaskan bahwa perkeretaapian diselenggarakan dengan tujuan untuk memperlancar perpindahan orang dan atau barang secara massal dengan selamat, aman, nyaman, cepat dan lancar, tertib dan teratur, efisien, terpadu dengan moda transportasi lain, serta menunjang pemerataan, pertumbuhan, stabilitas, pendorong, dan penggerak pembangunan nasional (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2007). Peristiwa Luar Biasa Hebat (PLH) dipandang sebagai kecelakaan hebat jika (1) peristiwa itu berakibat orang tewas atau luka parah atau terdapat kerusakan jalan kereta api sehingga tidak dapat dilalui selama paling sedikit 24 jam atau kerusakan material, (2) kereta api sebagian atau

ISBN 978-602-73461-8-5

seluruhnya keluar rel atau tabrakan, (3) semua bahaya karena kelalaian pegawai dalam melakukan urusan perjalanan kereta api atau langsir, (4) dugaan atau percobaan sabotase dan (5) benda lain rusak hebat karena ditabrak kereta api (Komite Nasional Keselamatan Transportasi, 2016).

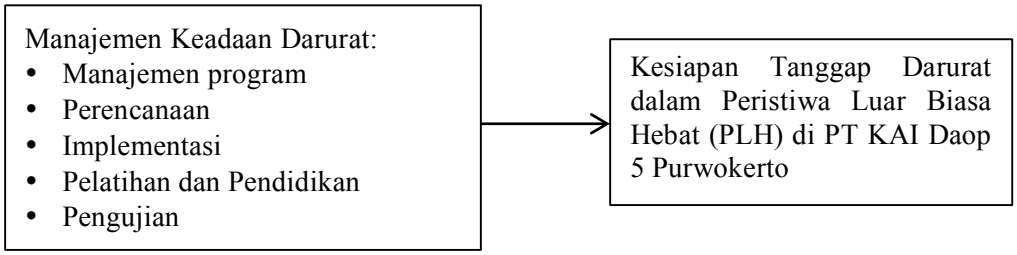
Menurut Komite Nasional Keselamatan Transportasi (2013) Keselamatan perkeretaapian di Indonesia masih membutuhkan perhatian serius, dilihat dari masih adanya kejadian kecelakaan yang terjadi. Beberapa kecelakaan kereta api di wilayah PT Kereta Api Indonesia (Persero) Daerah Operasi 5 Purwokerto adalah Tumburan KA 174 Kutojaya dengan KA 103 Mutiara Selatan pada tanggal 28 Januari 2011 dan Anjlokan KA 101 Senja Utama Jogja pada tanggal 3 Maret 2012. Kecelakaan kereta api tersebut tentu saja adalah sebuah kejadian yang tidak diinginkan oleh PT Kereta Api Indonesia (Pesero) Daerah Operasi 5 Purwokerto. Menurut *National Fire Protection Association 1600* (2013), keadaan darurat di definisikan sebagai segala kejadian alamiah atau akibat ulah manusia yang memerlukan aksi penyelamatan dan perlindungan terhadap keselamatan dan kesehatan masyarakat dan encana adalah kejadian bencana alam, kecelakaan secara teknologi atau akibat ulah manusia yang menyebabkan kerusakan properti.

Kebutuhan prasarana untuk penanggulangan keadaan darurat harus dipersiapkan dengan baik sesuai hasil identifikasi dan perencanaan awal. Prasarana mencakup beberapa aspek, seperti (1) sarana penanggulangan (kebakaran, pencemaran, ledakan, bocoran bahan kimia dan bencana alam), (2) sarana penyelamatan manusia (*rescue*), (3) peralatan dan sistem telekomunikasi, (4) logistik seperti kebutuhan material penanggulangan, konsumsi dan transportasi, (5) sarana medis mencakup klinik atau rumah sakit, pertolongan pertama dan tenaga media yang diperlukan, dan (6) pusat krisis lengkap dengan fasilitas untuk mengendalikan keadaan darurat (Ramli, 2013). Menurut Sucipto (2014), Pertolongan Pertama Pada Kecelakaan adalah upaya pertolongan dan perawatan sementara terhadap korban kecelakaan sebelum mendapat pertolongan yang lebih sempurna dari dokter. Tujuan pemberian pertolongan pertama pada kecelakaan adalah: (1) menyelamatkan nyawa korban, (2) meringankan penderitaan korban, (3) mencegah cedera menjadi lebih parah, (4) mempertahankan daya korban dan (5) mencarikan pertolongan yang lebih lanjut.

Kesiapsiagaan dan tanggap darurat perlu dikembangkan menggunakan 5 langkah program kesiapsiagaan dengan menggunakan manajemen tanggap darurat, yaitu (1) manajemen program meliputi program mengatur, mengembangkan dan mengelola program kesiapsiagaan dan mengidentifikasi peraturan yang menetapkan persyaratan minimum untuk program kesiapsiagaan yang dimiliki oleh perusahaan (2) perencanaan, yaitu mengumpulkan informasi tentang bahaya dan menilai risiko, melaukan analisis dampak bisnis dan menerapkan cara-cara mencegah bahaya dan mengurangi risiko (3) implementasi, yaitu pengelolaan sumber daya, tanggap darurat, krisis komunikasi, kelanjutan bisnis, teknologi informasi, bantuan karyawan, manajemen insiden dan latihan (4) pelatihan dan pendidikan, yaitu memberikan pendidikan mengenai program yang telah dibuat, menentukan jenis latihan yang dibutuhkan membuat prosedur untuk latihan dan menggunakan latihan tersebut untuk mengevaluasi efektifitas program yang ada (5) pengujian, tahapan ini meliputi pengujian terhadap program yang telah dibuat, dengan memberikan simulasi untuk mengetahui kesiapan saat terjadi keadaan darurat.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem tanggap darurat pada peristiwa luar biasa hebat di PT Kereta Api Indonesia (Persero) Daerah Operasi 5 Purwokerto. Kerangka konsep dalam penelitian ini adalah:

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 1. Kerangka Konsep Penelitian

2. Metode

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian deskriptif kualitatif dengan menggunakan pendekatan studi kasus. Jumlah subjek penelitian berjumlah 4 orang yang terdiri dari 1 orang *Manager* Sarana, 1 orang Kepala Ruas (KR) pemeliharaan Kereta Penolong (NR), fasilitas, *tools* dan bangunan, 1 orang kepala tim evakuasi sarana dan 1 orang personil tim evakuasi sarana. Teknik pengambilan subjek penelitian dilakukan dengan metode *Purposive sampling*. Penelitian ini menggunakan metode observasi, telaah dokumen dan wawancara mendalam. Keabsahan data menggunakan teknik triangulasi sumber dan triangulasi metode.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Manajemen Program

Perusahaan memiliki komitmen terhadap kesiapsiagaan keadaan darurat yaitu dengan adanya aturan melalui keputusan direksi tentang manajemen keadaan darurat, karena kereta api selalu menjunjung nilai keselamatan sebagai yang utama. Berikut pernyataan informan berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan:

"...Perusahaan sudah komitmen, keadaan darurat PLH kan ya? Jadi begitu ada kejadian PLH ya langsung timnya itu diturunkan kelokasi, kan keselamatan disini itu yang utama" **(Informan kunci 1)**

"...Komitmenya ya kalo untuk keadaan darurat ya sudah ada aturanya, jadi kita gak boleh sembarangan. Karena keselamatan itu nomor satu, jadi sebisa mungkin kita ya zero accident" ***(Informan kunci 2)***

"...Sangat komitmen, hal itu dibuktikan dengan berbagai keputusan direksi tentang keselamatan, termasuk dalam situasi daruat" ***(Informan triangulasi)***

Berdasarkan hasil telaah dokumen keputusan direksi nomor KEP.U/KS.102/X/1/KA-2016 tentang Sistem Manajemen Keselamatan Perkeretaapian pada elemen keempat menjelaskan tentang sistem manajemen keadaan darurat, yaitu keadaan darurat di perkeretaapian adalah sebuah peristiwa yang membutuhkan respon cepat dan efektif yang mempunyai tujuan meminimalkan korban jiwa dan kerugian terhadap manusia dan aset, sehingga keadaan darurat yang terjadi tidak menjadi lebih parah. Hasil wawancara dan telaah dokumen yang telah dilakukan oleh peneliti, bahwa perusahaan telah memiliki komitmen terhadap kesiapsiagaan keadaan darurat yaitu dengan adanya aturan melalui keputusan direksi tentang manajemen keadaan darurat, karena kereta api selalu menjunjung nilai keselamatan sebagai yang utama.

Perusahaan juga sudah memiliki panitia untuk mempersiapkan keadaan darurat berupa tim evakuasi sarana. Berikut pernyataan informan berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan:

"...Ada itu mas, tim evakuasi untuk sarana disini saya juga ikut. Jadi saya pernah waktu ada PLH tahun berapa itu, lupa. Waktu itu saya udah pulang lah tiba-tiba

ISBN 978-602-73461-8-5

dihubungi sama pak KDT kalo ada PLH, ya waktu itu juga harus langsung berangkat, jadi ya memang harus selalu siap" ***(Informan kunci 3)***

"...Disini ya ada tim evakuasi kalo terjadi PLH, timnya ada di depo. Disana juga ada gerbong NR yang isinya peralatan, jadi ya kita udah siap buat kejadian-kejadian kaya gitu" ***(Informan triangulasi)***

Berdasarkan hasil telaah dokumen yang dilakukan mengenai tim evakuasi sarana, diketahui bahwa tim evakuasi berjumlah 12 orang yang terdiri dari 1 orang ketua tim, 1 orang spv fasilitas dan NR, 1 orang operator dan 9 orang pelaksana. Hal tersebut diketahui dari struktur tim evakuasi rinja yang dimiliki oleh perusahaan. Tim evakuasi sarana juga selalu siap kapanpun, hal tersebut terbukti dengan kantor yang tidak pernah kosong dan selalu ada orang karena menggunakan sistem shift selama 24 jam.

Manajemen tanggap darurat harus menjadi kebutuhan dan dituangkan kedalam kebijakan manjemen. Tanpa dukungan dan keinginan manajemen, maka program pengelolaan tanggap darurat tidak akan berhasil. Kebijakan menjadi landasan penerapan manejemen bencana di masing-masing perusahaan. Kebijakan dalam sebuah perusahaan juga penting karena menjadi bukti komitmen pimpinan perusahaan terhadap penerapan manejemen bencana, termasuk keadaan darurat (Ramli, 2010). Sejalan dengan penelitian ini, perusahaan telah memiliki komitmen dalam bentuk kebijakan yang tertuang dalam keputusan direksi nomor KEP.U/KS.102/X/1/KA-2016.

Perusahaan juga telah memiliki kebijakan bidang keselamatan untuk mendukung keadaan darurat yang tertuang didalam misi perusahaan yaitu berupa pilar utama perusahaan yang menempatkan keselamatan sebagai poin pertama. Berikut pernyataan informan berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan:

"...Jadi gini, keselamatan itu kan penting dan harus diutamakan dalam setiap pekerjaan, ada aturannya juga. Termasuk misalkan pada saat melaksanakan evakuasi pun kita ya harus, e apa itu namanya, pake rompi, pake sepatu, pake helm gitu, jadi emang ga boleh sembarangan" ***(Informan kunci 2)***

"...Keselamatan itu yang paling penting, setiap aktivitas yang kita lakukan harus selalu mengutamakan keselamatan" ***(Informan triangulasi)***

Berdasarkan hasil telaah dokumen tentang visi dan misi perusahaan yang menjelaskan bahwa perusahaan memiliki pilar utama yang tertuang didalam misi perusahaan dan menempatkan keselamatan sebagai poin pertama. Artinya perusahaan selalu mengutamakan keselamatan sebagai yang utama sekalipun dalam keadaan darurat. Sistem pengendalian keadaan darurat yang terintegrasi ke dalam kebijakan tetap (Kuesnendar, 2009). Sejalan dengan penelitian ini bahwa manajemen keadaan darurat yang dilakukan oleh perusahaan sudah tertuang dalam sebuah kebijakan, sehingga komitmen perusahaan terhadap tanggap darurat bersifat tetap dan mengikat. Setelah adanya kebijakan dalam bentuk komitmen yang mengenai keadaan darurat, maka selanjutnya adalah perlunya dukungan dari semua pihak terhadap komitmen yang telah dibuat.

Bentuk dukungan perusahaan terhadap komitmen perusahaan dilakukan dengan cara sosialisasi kepada seluruh pegawai dilingkungan perusahaan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Menurut Kusnender (2009), program sosialisasi dan informasi terkait sistem tanggap darurat diperusahaan belum dilaksanakan secara optimal, oleh karena itu masih perlu dilakukan upaya perbaikan. Tidak sejalan dengan penelitian ini telah melaksanakan sosialisasi secara optimal terhadap semua kebijakan yang telah dibuat oleh perusahaan, termasuk kebijakan dalam menghadapi situasi darurat.

ISBN 978-602-73461-8-5

3.2. Perencanaan

Perusahaan telah melakukan penilaian risiko terhadap bahaya yang mungkin terjadi pada kereta api. Berikut pernyataan informan berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan:

"...Itu ada penilaiannya secara periodik. Misalnya kereta dari solo tujuan sini atau dari jakarta tujuan sini, setelah sampai stasiun masuk sini, kemudian di cek kondisinya, apakah ada bahaya yang sekiranya dapat menjadikan sebuah kecelakaan atau tidak. Ada yang perawatan berkala satu bulan, ada tiga bulan. Disana bukan Cuma perawatan, tapi juga untuk melihat komponen yang beresiko terjadinya kecelakaan, misalnya ketebalan roda yang selalu wajib untuk diukur. Pokoknya dipantau terus" ***(Informan kunci 1)***

"...E, kalo untuk penilaian risiko ya caranya dengan identifikasi bahaya itu ada di lembar manajemen risiko" ***(Informan triangulasi)***

Berdasarkan hasil telaah dokumen keputusan direksi nomor KEP.U/KS.102/X/1/KA-2016 tentang Sistem Manajemen Keselamatan Perkeretaapian pada elemen kedua menjelaskan tentang sistem manajemen risiko keselamatan adalah suatu proses yang sistematis untuk mengidentifikasi, menilai dan mengendalikan risiko sehingga efek negatif dapat berkurang. Penilaian risiko dapat dilaksanakan pada saat pertemuan workshop untuk aktivitas manejemen risiko sederhana. Sedangkan untuk kontrol risiko digunakan hirarki pengendalian risiko, mulai dari mengeliminasi bahaya, mengganti dengan alternatif yang tidak berbahaya, menggunakan kontrol rekayasa, menggunakan kontrol administrasi dan menggunakan alat pelindung diri.

Identifikasi bahaya yang dilakukan harus mencakup bahaya alam (meliputi geologi, meteorologis dan biologis), bahaya yang disebabkan oleh manusia (meliputi yang disengaja dan tidak disengaja), dan bahaya yang disebabkan oleh teknologi (meliputi yang disengaja maupun tidak disengaja. Berdasarkan hasil wawancara dengan informan, diketahui bahwa bahaya yang di identifikasi sudah mencakup ketiganya, baik bahaya yang diakibatkan oleh alam seperti geografis, manusia seperti operator dan teknologi seperti persinyalan. Berikut pernyataan informan berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan:

"...Evaluasi yang biasa dilakukan ya banyak faktor, ya operatornya, orangnya. Kalo disarana ya itu yang beresiko, seperti alat ukur, jadi ya tetap harus di dalam ril standar, terus alam juga, termasuk kondisi geografis alam, kalo teknologi itu bagian sinyal biasanya" ***(Informan kunci 2)***

"...Ada evaluasi tersendiri untuk masing-masing keadaan. Kalau dari faktor alam yang biasanya terjadi itu longsor dan banjir. Kalau dari faktor sumberdaya manusia biasanya human errors. Kalau dari faktor teknologi sangat berpengaruh sekali" ***(Informan kunci 3)***

"...Iya itu udah mencakup semuanya, baik kondisi alam, manusia maupun teknologi" ***(Informan triangulasi)***

Berdasarkan hasil telaah dokumen dari annual report perusahaan tahun 2016 diketahui bahwa perusahaan telah melakukan identifikasi bahaya terhadap keberlangsungan operasi kereta api, termasuk didalamnya adalah identifikasi bahaya terhadap suatu keadaan darurat. Bahaya yang identifikasi meliputi kondisi alam yang memungkinkan terjadinya tanah longsor, karena banyak jalur kereta api yang membelah bukit dan lokasi jalur kereta api yang berada dilereng bukit, selanjutnya adalah bahaya yang diakibatkan oleh manusia yang memungkinkan human error dan mengakibatkan terjadinya kecelakaan, hal bisa bisa terjadi kepada seluruh pegawai yang mengoperasikan kereta api seperti masinis, penjaga perlintasan, dan operator kereta api dan yang ketiga adalah teknologi meliputi gangguan persinyalan yang seringkali tidak terduga.

ISBN 978-602-73461-8-5

Menurut penelitian Rahman dkk (2017), kecelakaan kapal disebabkan oleh 3 faktor yaitu faktor alam, faktor manusia dan faktor lainnya. Faktor lainnya dalam penelitian tersebut tidak disebutkan, sehingga tidak diketahui. Berbeda dengan penelitian ini bahwa identifikasi bahaya yang dilakukan oleh perusahaan adalah mencakup 3 faktor, yaitu faktor alam, faktor manusia dan faktor teknologi. Menurut Buntarto (2015), kondisi darurat membutuhkan kesiapan sekelompok pekerja yang benar-benar paham harus berbuat apa ketika suatu kecelakaan terjadi.

Hal tersebut sesuai dengan informasi yang didapatkan dari hasil telaah dokumen bahwa perusahaan telah memiliki sumberdaya manusia yang tergabung dalam tim evakuasi sarana, sehingga dalam setiap kondisi darurat khusunya saat perjalanan kereta api, tim tersebut siap untuk menjalankan tugas sesuai fungsinya masing-masing sebagai tim tanggap darurat. Menurut penelitian Yogi dkk (2016), pegawai yang tergabung dalam tim emergency respon plan sudah mengetahui tugasnya masing-masing pada saat terjadi keadaan darurat. Sejalan dengan penelitian ini, tim tanggap darurat yang dimiliki oleh PT KAI telah memiliki keterampilan dan kemampuan untuk melakukan operasi tanggap darurat, termasuk sudah mengetahui tugas dan fungsingnya masing-masing, sehingga dalam keadaan darurat mereka siap untuk melaksanakan operasi tanggap darurat.

3.3. Implementasi

Perusahaan telah melakukan rencana pada saat sebelum terjadi, pada saat terjadi dan setelah terjadi keadaan darurat. Berikut pernyataan informan berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan:

"...Waktu sebelum kejadadian ya alatnya harus selalu disiapkan dan selalu dilakukan pengecekan secara berkala. Kemudian saat kejadian itu, kita kan belum bisa memprediksi dulu, paling ya alat-alatnya disiapkan dulu, kemudian dibawa. Termasuk jensetnya dan alat-alatnya itu di tepi-tepikan. Nah setelah sampai dilokasi, liat saranaya itu, lah baru bisa ambil keputusan. Baru kita instruksikan tim harus seperti ini seperti ini. Karena kan, e setiap permasalahan kan beda beda juga posisinya, jadi menganalisanya kan beda-beda, penanganannya juga beda-beda. Terus kalo pasca PLH, yaa e yang penting alatnya dimasukin semua, e yang penting bisa masuk lah, alat itu bisa masuk pokoknya, baru besoknya alat-alatnya dirapikan kembali, dipacking lagi" ***(Informan kunci 2)***

"...Kita kan selalu belajar dari masa lalu, misalnya yang paling sering itu kan anjlog, nah itu kita analisis penyebabnya kenapa bisa terjadi. Nah dari sana kan ada rekomendasi yang harus dijalankan pada waktu ini biar di tempat yang sama atau bahkan ditempat lain gak keulang lagi. Kalo pas kejadian ya kita evakuasi semaksimal mungkin biar relnya bisa dilewati kereta lain. Terus pasca kejadian itu ya kita bikin rekomendasi lagi, dari hasil analisis" ***(Informan triangulasi)***

Perusahaan juga telah memiliki alur informasi dan komunikasi saat terjadi keadaan darurat. Berikut pernyataan informan berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan:

"...Dari pusat pengendali perjalanan kereta api akan memberi kabar ke tim tanggap darurat" ***(Informan triangulasi)***

Berdasarkan hasil telaah dokumen keputusan direksi nomor KEP.U/LL.612/I/1/KA-2013 tentang Pelaporan Pengukuran Data Teknis Prasarana, Sarana, Operasi dan Temuan Lapangan Pasca Kejadian PL/PLH, pelaporan meliputi diameter roda, ukuran flens roda, jarak keping roda, ketinggian frame boogie terhadap koprel dan teknis yang lainnya. Hal tersebut dibutuhkan secara tepat dan cepat agar penyebab terjadinya PLH dapat segera diketahui. Selain itu juga ditemukan dokumen berupa nomor darurat yang bisa dihubungi dan ditempel disetiap tempat, jadi penanganan yang dilakukan dapat dilakukan dengan cepat dan tepat.

ISBN 978-602-73461-8-5

Perusahaan telah memiliki SOP dalam melaksanakan keadaan darurat melalui keputusan direksi. Berikut pernyataan informan berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan:

"...SOP nya SOP kerja, semua pekerjaan yang dilakakukan ada SOP nya. Tapi kalo untuk PLH prosedurnya prosedur evakuasi" ***(Informan kunci 1)***

"...SOP ada. Dalam bentuk SOP.. apa yaa namanya? E ya ini SOP, lampiran gitu" ***(Informan kunci 2)***

"...SOP yang berkaitan dengan keselamatan di unit sarana adalah SK direksi no 107 tahun 2013 tentang SOP pengukuran angkat persegi sarana dan pengukuran jalan rel eks PLH" ***(Informan triangulasi)***

Berdasarkan hasil telaah dokumen keputusan direksi nomor KEP.S/PS.107/XII/1/KA-2013 tentang SOP Pengukuran Angkat Persegi Sarana dan Pengukuran Jalan Rel eks PL/PLH Bagi Tim Investigasi yang berisi SOP dalam pelaksanaan kejadian darurat untuk mengatur mekanisme tanggap darurat. SOP ini sebagai tata cara dalam menginformasikan kepada seluruh pihak yang terlibat dalam hal ini adalah tim evakuasi sarana yang bertugas melakukan evakuasi. Untuk mendukung pelaksanaan SOP pada saat terjadi kedaan darurat, maka perlu adanya sosialisasi kepada tim tanggap darurat. Perusahaan telah melakukan sosialisasi SOP kepada tim tanggap darurat. Berikut pernyataan informan berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan:

"...Jadi gini, kalo untuk sosialisasi ya pas apel setiap pagi itu. Kita jelaskan disana, kita sosialisaikan" ***(Informan kunci 2)***

"...Dari Pak KDT ke bawah. Paling ya rapat apa pas briefing" ***(Informan kunci 3)***

"...Ya kalo itu melalui surat keputusan direksi, ada SOP yang menyangkut tentang tim tanggap darurat " ***(Informan triangulasi)***

Dengan demikian, berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan di PT KAI Daop 5 Purwokerto dapat disimpulkan bahwa cara sosialisasi SOP kepada tim evakuasi dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Secara langsung yaitu melalui breafing dan rapat, sedangkan secara tidak langsung yaitu melalui surat. Menurut Susanto (2006), bahwa mitigasi merupakan hal terpenting dalam manajemen keadaan darurat, sehingga perlu adanya komitmen yang kuat bagi manajemen dalam melakukan mitigasi terhadap keadaan darurat, yang kemudian diimplementasikan ke lapangan. Teori tersebut menjelaskan bahwa untuk menghadapi keadaan darurat perusahaan harus memiliki komitmen kuat yang dapat.

Tahapan manajemen bencana pada kondisi sebelum kejadian atau pra bencana meliputi kesiapsiagaan, peringatan dini dan mitigasi. Kesiapsiagaan merupakan serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk mengantisipasi bencana melalui pengorganisasian serta melalui langkah yang tepat guna dan berdaya guna (Anies, 2018).

Berdasarkan hasil wawancara dan telaah dokumen yang telah dilakukan oleh peneliti, didapatkan hasil bahwa perusahaan telah memiliki alur informasi dan komunikasi saat terjadi bencana. Menurut Setyowati dkk (2016), penyebaran informasi terkait situasi darurat belum dilakukan secara optimal. Hal ini tentu saja akan berbahaya untuk penumpang karena penumpang tidak mengetahui cara menghadapi situasi darurat yang dianjurkan oleh perusahaan, berbeda dengan penelitian ini yang sudah melakukan penyebaran informasi kepada seluruh penumpang yang berada dalam rangkaian kereta api. Penyebaran informasi dilakukan dengan menggunakan pengeras suara yang sudah disediakan oleh perusahaan. Informasi yang disampaikan oleh perusahaan berupa himbauan, larangan dan peringatan, termasuk saat megalami situasi darurat.

Standar atau pedoman tertulis yang digunakan untuk mendorong dan menggerakan suatu kelompok untuk mencapai tujuan organisasi. SOP merupakan tata cara atau tahapan yang harus dilalui untuk menyelesaikan suatu proses kerja tertentu (Potter dan Perry,

ISBN 978-602-73461-8-5

2005). Sejalan dengan teori ini, SOP yang dimiliki perusahaan adalah sebuah proses untuk tahapan penanganan keadaan darurat kaitanya dengan PLH, oleh karena itu SOP ini menjadi sangat penting untuk dilaksanakan oleh perusahaan agar sesuai dengan tujuan perusahaan.

3.4. Pendidikan dan Pelatihan

Program pelatihan dan pendidikan yang diadakan oleh PT KAI adalah berupa Pendidikan Latihan (diklat) yang diadakan secara berkala. Berikut pernyataan informan berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan:

"...Ada sih, jadi dulu sebelum. Jadi yang pengadaan alat itu. Jadi e kalo kereta api itu pengadaan alat, jadi pasti satu paket sama pembelajarannya, sama pendidikannya. Jadi contoh alat ini, jadi tim itu langsung kita beri tahu teknis pemakaiannya" ***(Informan kunci 2)***.

"...Untuk karyawan disini itu setiap tahun pasti di diklat, jadi bisa dipastikan skill mereka terlatih" ***(Informan triangulasi)***

Berdasarkan hasil telaah dokumen keputusan direksi nomor KEP.U/KP.110/XII/3/KA-2012 tentang Peningkatan dan Pengembangan Kompetensi Sumber Daya Manusia melalui Program Pendidikan dan Peltihan di Lingkungan PT KAI, dijelaskan bahwa program pendidikan dan pelatihan yang disusun adalah secara berjenjang mulai dari pengambangan kompetensi dasar hingga tahap pengembangan profesional.

Program pendidikan dan pelatihan yang diadakan seperti (1) *Basic Development Program*, yaitu program untuk membentuk kompetensi dasar bagi pekerja baru, (2) *Managerial Development Program*, yaitu program untuk membentuk dan meningkatkan kompetensi pekerja dalam jabatan struktural untuk menjalankan fungsinya, (3) *Managerial Development Program Khusus*, yaitu program untuk membentuk dan meningkatkan kompetensi pekerja dalam menjalankan fungsinya sebagai kepala daerah atau kepala stasiun, dan (4) *Professional Development Program*, yaitu program untuk membentuk dan meningkatkan pengetahuan, keahlian, keterampilan dan sikap pekerja sesuai dengan kompetensi teknis yang dipersyaratkan dalam kelompok pekerjaanya.

Perusahaan perlu melakukan pendidikan dan pelatihan untuk meningkatkan keterampilan para pegawai. Perusahaan dalam melakukan pendidikan dan pelatihan perlu menetapkan metode yang akan digunakan untuk melatih para pegawai. Berdasarkan hasil penelitian dengan metode wawancara dan telaah dokumen diketahui bahwa perusahaan melaksanakan diklat secara berkala dan disusun secara berjenjang mulai dari pengambangan kompetensi dasar hingga tahap pengembangan profesional.

Penanganan bencana atau keadaan darurat memerlukan tenaga-tenaga terlatih dan terampil dan perusahaan memerlukan pelatihan yang terencana mengenai penanganan bencana. Sehingga hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang menjelaskan bahwa PT KAI telah melaksanakan pendidikan dan pelatiah terhadap para pegawinya agar mendapatkan kemampuan dan keterampilan.

Menurut penelitian Purba dan Siantun (2015), pendidikan dan pelatihan yang diberikan perusahaan untuk seluruh pegawai adalah diklat seleksi pegawai baru, diklat profesi, diklat penjenjangan, diklat penunjangan dan dilkat purna bakti. Sejalan dengan penelitian ini, diklat yang dilakukan oleh PT KAI adalah untuk mengasah kemampuan dan keterampilan.

ISBN 978-602-73461-8-5

3.5. Pengujian

Program pengujian atau simulasi belum terlaksana oleh perusahaan, namun sudah ada rencana untuk diadakannya simulasi. Berikut pernyataan informan berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan:

"...Biasanya kalo ada alat baru, ya disosialisasikan.alat yang sebelumnya belum ada dikasih tau cara penggunaanya gimana. Tapi kalo untuk simulasi kejadian PLH kaya anjlok atau guling belum. Paling ya pas pengujian alat itu, semisalkan kemarin ada alat baru untuk mengangkat kereta, ya itu di praktekin. Keretanya dikeluarin dari rel, terus nanti di balikkan lagi ke rel" ***(Informan kunci 1)***.

"...Simulasi PLH itu sebenarnya sudah kita rencanakan, tapi untuk tahun kemarin memang belum sempat terealisasi karena jadwal yang padat. Kita sudah rencanakan untuk tahun ini setelah lebaran kita laksanakan" ***(Informan triangulasi)***.

Berdasarkan hasil telaah dokumen permenhub nomor PM-47/2014 tentang Standar Pelayanan Minimum Angkutan Orang Dengan Kereta Api, dijelaskan bahwa penyelengara sarana dan prasarana perkeretaapian wajib melaksanakan simulasi evakuasi keadaan darurat pada stasiun kereta api besar. Artinya perusahaan memang sudah memiliki rencana untuk melakukan simulasi, hanya saja belum terlaksana. Waktu yang diharuskan untuk simulasi evakuasi keadaan darurat dilaksanakan minimum satu kali dalam satu tahun (Kemenhub, 2014).

Pengujian merupakan tahapan perusahaan dalam melakukan evaluasi pelaksanaan keadaan darurat melalui pengujian atau simulasi. Berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan oleh peneliti, didapatkan hasil bahwa program pengujian atau simulasi belum terlaksana oleh perusahaan, namun sudah ada rencana untuk diadakannya simulasi. Menurut Peraturan Menteri Perhubungan nomor PM-47 tahun 2014 tentang Standar Pelayanan Minimum Angkutan Orang Dengan Kereta Api, dijelaskan bahwa penyelengara saran dan prasarana perkeretaapian wajib melaksanakan simulasi evakuasi keadaan darurat pada stasiun kereta api besar dengan jangka waktu minimal satu tahun sekali (Kemenhub, 2014).

Menurut penelitian Kusnender (2009), program pelatihan K3, termasuk didalamnya adalah simulasi belum dilaksanakan secara optimal dan belum terlaksana secara priodik serta berkelanjutan. Penelitian ini sejalan katena di PT KAI juga belum melaksanakan simulasi secara periodik maupun berkelanjutan, sehingga dikhawatirkan dampak yang diakibatkan jika perusahaan tidak melaksanakan pengujian atau simulasi adalah tidak bisa melakukan penilaian kemampuan dan keterampilan kepada tim tanggap darurat yang melaksanakan operasi tanggap darurat, hal itu tentu saja kurang baik karena dapat berakibat terhadap citra buruk perusahaan. Selain itu juga tidak mendukung upaya dari komitmen yang sudah dikeluarkan oleh perusahaan, yakni melakukan tanggap darurat secara cepat, tepat dan efektif.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

PT Kereta Api Indonesia (Persero) Daerah Operasi 5 Purwokerto siap dalam mengimplementasi sistem tanggap darurat dalam menghadapi Peristiwa Luar Biasa Hebat (PLH) dengan telah memiliki komitmen terhadap kesiapsiagaan menghadapi keadaan darurat, memiliki sumberdaya yang kompeten, telah memiliki tim evakuasi sarana, ketersediaan alat atau fasilitas keselamatan untuk evakuasi yang memadai. Hal yang masih dirasa kurang yaitu belum dilakukan program pendidikan dan pelatihan yang spesifik khusus untuk menangani kejadian PLH dan belum dilaksanakannya program pengujian atau simulasi kepada tim tanggap darurat.

ISBN 978-602-73461-8-5

4.2. Saran

a. Bagi Kepala Daop 5 Purwokerto
   1) Pelaksanaan pendidikan dan pelatihan secara rutin dibidang keselamatan, khususnya untuk tim evakuasi sarana untuk menangani keadaan darurat seperti PLH.
   2) Penambahan fasilitas keselamatan yang dapat digunakan untuk evakuasi saat terjadinya PLH, sehingga semua jenis PLH dapat diatasi dengan cepat dan tepat.
   3) Melakukan penilaian risiko terhadap semua faktor penyebab PLH, seperti faktor manusia, faktor teknologi dan faktor alam.

b. Bagi Manager Sarana PT KAI Daop 5 Purwokerto
   1) Melaksanakan simulasi PLH kereta anjlog maupun terguling sehingga perusahaan dapat menilai kemampuan dan keterampilan dari tim evakuasi sarana.
   2) Membuat SOP alur penanganan PLH untuk tim evakuasi sarana.

Daftar Pustaka

Anies, 2018*, Manajemen Bencana, Solusi untuk Mencegah dan Mengelola Bencana*, Gosyen Publishing, Yogyakarta.

Buntarto, 2015, *Panduan Praktis Keselamatan dan Kesehatan Kerja untuk Industri*, Pustaka Baru Press, Yogyakarta.

Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2007, *Undang-undang Nomor 32 tentang Perkeretaapian,* Menteri Perhubungan, Jakarta.

Kementrian Perhubungan Republik Indonesia, 2014, *Permenhub Nomor 42 tentang Standar Pelayanan Minimum untuk Angkutan Orang dengan Kereta Api*, Menteri Perhubungan, Jakarta.

Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT), 2013, *Laporan Hasil Investigasi Kecelakaan Kereta Api,* Kementrian Perhubungan Republik Indonesia, Jakarta.

Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT), 2016, *Data Investigasi Kecelakan Perkeretaapian Tahun 2010-2016*, Kementrian Perhubungan Republik Indonesia, Jakarta.

Kuesnendar, Y., K., 2009, *Laporan Khusus: Sistem dan Implementasi Emergebcy Response and Preparedness sebagai Upaya Pengendalian Kondisi Darurat di PT Seamless Pipe Indonesia Jaya Cilegon Banten*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

National Fire Protection Association (NFPA) 1600, 2013, *Standar on Disaster/Emergency Manajement and Business Contuinity Programs,* Qiuncy, NFPA Publication.

Potter P., A., dan Perry G., A., 2005, *Buku Ajar Fundamental Keperawata: Konsep, Proses dan Praktik, Edisi 4, Volume 1, Alih Bahasa, Asih, Y*,. EGC, Jakarta.

Purba., I., dan Sianturi, S., M., 2015, Tinjauan Pelaksanaan Pendidikan dan Pelatihan Pegawai pada PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Area Medan, *Jurnal Bisnis Administrasi*. Vol.4, No.2, pp. 25-31.

Rahman, H., Satria, A., Iskandar, B., H., dan Soeboer, D., A., 2017, Penentuan Faktor Dominan Penyebab Kecelakaan Kapal di Kesyahbandaran Utama Tanjung Priok, *Albacore*, Vol. 1, No. 3, pp. 277-282.

Ramli, S., 2013, *Smart Safety, Panduan Penerapan SMK3 yang Efektif*, Dian Rakyat, Jakarta.

ISBN 978-602-73461-8-5

Setyowati, L., Suroto., dan Kurniawan, B. 2016. Analisis Implementasi Rencana Tanggap Darurat (Emergency Respon Plan) pada Kapal Penumpang X. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, Vol.4, No.3, pp. 478-486.

Sucipto, C., 2014, *Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. Pustaka Baru, Yogyakarta.

Susanto, A., B., 2006, *Disaster Management DI Negeri Rawan Bencana*, PT Aksara Grafika Pratama, Jakarta.

Yogi, G., P., Ruchiat, A., dan Setianti, Y., 2016, *Emercency Response Plan Garuda Indoensia. Jurnal Ilmiah Studi Hubungan Masyarakat,* Vol. 1, No. 1. pp. 65-77.

ISBN 978-602-73461-8-5

Perancangan *Liquid Cooling Garment* Menggunakan *Peltier Device* Untuk Aktivitas di Lingkungan Panas

Esmu Aprianto, Titis Wijayanto
Departemen Teknik Mesin dan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No.2 Yogyakarta 55281
Telp. 085250297511
E-mail: kpm_team@yahoo.co.id

Intisari

Pemanasan global mengakibatkan iklim dunia semakin lama semakin meningkat, banyak tempat kerja yang memiliki kondisi lingkungan yang panas, seperti tambang, peleburan, lokasi konstruksi, pabrik boiler dan di dalam kendaraan militer. Salah satu metode alternatif untuk mengatasi aktivitas dilingkungan panas dengan menggunakan pakaian pelindung berteknologi liquid cooling garment (LCG). LCG merupakan teknologi pakaian pelindung yang menggunakan cairan sebagai pendingin, cairan tersebut didinginkan dan dipompa untuk dialirkan kedalam pipa keseluruh bagian pakaian pelindung. Perancangan LCG terdiri dari 2(dua) bagian yaitu rompi pendingin dan peltier device. Rompi pendingin dilengkapi dengan pipa berbahan silicon dengan cairan yang didinginkan dan dipompa dengan menggunakan pompa DC. Sistem pendingin cairan menggunakan teknologi peltier device sehingga lebih efektif dan efisien. Parameter suhu pada cairan diatur pada suhu optimal yaitu 19 ^{o}C, yang dialikan ke bagian dada depan dan punggung belakang rompi pendingin. Hasil pengujian tersebut mengenai seberapa optimal LCG dengan teknologi peltier device dapat memberikan efisiensi pendinginan dan kenyaman termal pada lingkungan panas. Hasil penelitian ini dapat digunakan oleh para pekerja yang terpapar langsung lingkungan yang panas agar dapat memperoleh kenyamanan termal dalam dan mengurangi heat stress, sehingga dapat meningkatkan produktifitas dalam bekerja.

Kata Kunci: LCG, peltier device dan rompi pendingin

1. Pendahuluan

Perubahan iklim dunia dalam beberapa tahun ini membuat keadaan temperatur bumi menjadi tidak stabil. Menipisnya lapisan ozon menimbulkan efek rumah kaca yang membuat temperatur bumi meningkat. Pada masa sekarang ini musim kemarau terasa lebih panas, sehingga dapat mempengaruhi manusia dalam melakukan aktivitas fisiknya sehari-hari, tubuh yang terpapar langsung oleh kondisi lingkungan yang panas dapat mempengaruhi keselamatan dan kesehatan manusia. Menurut penelitian Wendt, *et al.* (2007), aktivitas fisik di lingkungan panas, khususnya pada lingkungan dengan kelembaban yang tinggi, dapat mempengaruhi performansi dan mengakibatkan ***heat illness*** yang serius, seperti *heat exhaustion* dan *heat stroke*. Sudah jelas bahwa kenyaman termal manusia dalam beraktivitas dapat terganggu dengan keadaan lingkungan tersebut. Menurut Fanger (1982), kenyamanan termal mengacu pada tingkat metabolisme manusia yang dipengaruhi oleh kegiatan, insulasi pakaian, temperatur udara, kelembaban, kecepatan angin, dan intensitas cahaya. Humphreys dan Nicol (2002) menambahkan bahwa, ada dua variabel yang mempengaruhi kenyamanan termal, yaitu yang pertama

ISBN 978-602-73461-8-5

adalah variabel fisiologis manusia itu sendiri yang meliputi metabolisme tubuh, pakaian yang dikenakan, dan aktivitas yang dilakukan, dan yang kedua adalah variabel iklim yang meliputi temperatur udara, kecepatan angin, kelembaban, dan radiasi.

Liquid Cooling Garment (LCG) merupakan metode pakaian pendingin alternatif yang dapat melindungi tubuh dari hipertermia dan penyakit yang berhubungan dengan panas saat bekerja di lingkungan yang penuh tekanan. Prinsip kerja dari LCG yaitu dengan cairan dingin yang didorong oleh *micropump* kemudian mengalir melalui saluran tabung yang tertanam di dalam pakaian dasar dan dapat menghilangkan panas (Guo *et al.*, 2015). Terdapat banyak tempat kerja yang memiliki kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti tambang, peleburan, lokasi konstruksi, pabrik boiler dan di dalam kendaraan militer (Koppe *et al*., 2004; Altman *et al*., 2012). Teknologi LCG berkembang dari pakaian menjadi *cooling jacket* dan *cooling vest*. Menurut Luomala (2012) penggunaan *cooling vest* dapat membantu menjaga keimbangan tubuh pada lingkungan panas dan siklus kerja seseorang serta dapat meningkatkan kinerja seseorang dalam bekerja sebesar 21,5% atau sekitar 37 – 67 menit lebih besar dibandingkan tidak menggunakan *cooling vest.* Meskipun memiliki keunggulan dalam kehandalan efisiensi pendinginan, dan kapasitas yang dapat disesuaikan, dibandingkan teknik lainnya, seperti pendingin udara dan fase pendinginan (Nunneley, 1970), LCG tidak terlalu banyak digunakan. Hal ini disebabkan karena LCG memiliki beberapa kekurangan diantaranya memiliki dimensi dan masa yang besar, sehingga dianggap kurang *mobile* digunakan dalam aktivitas fisik pada lingkungan panas. *Peltier device* merupakan sistem pendingin yang digunakan pada rompi pendingin menggunakan peltier dengan prinsip (TEC) *thermoelectric coolers* (D'Angelo *et al*.,2013). Dengan mendesain LCG dengan dipadukan dengan *peltier device* yang dapat memberikan fase pendinginan yang efisien dengan dimensi dan massa yang cukup minimal. Sehingga dapat memberikan *surface sensation* dan kenyamanan termal dalam melakukan aktivitas fisik di lingkungan yang panas.

2. Metode

Penelitian dilakukan dengan dengan melakukan *literature study* telebih dahulu dengan mengumpulkan data empiris yang ada mengenai konsep perancangan LCG dari penelitian-penelitian terdahulu. Mengumpulkan alat dan bahan yang akan digunakan, kemudian melakukan perancangan LCG. Perancangan dibagi menjadi dua yaitu perancangan *cooling vest* dan perancangan *peltier device.*

2.1 Alat dan Bahan

2.1.1 Rompi Pendingin

Rompi pendingin terbuat dari bahan sintetis jaring polos pada lapisan dalam dan pada bagian luar rompi berbahan busa dan puring. Pada rompi bagian depan berukuran panjang 495 mm x 430 mm, dan pada bagian belakang berukuran 605 mm x 415 mm. Pipa tabung berbahan silikon dengan diameter dalam 3 mm dan diameter luar 5 mm dengan panjang sekitar 12 meter.

2.1.2 *Peltier Device*

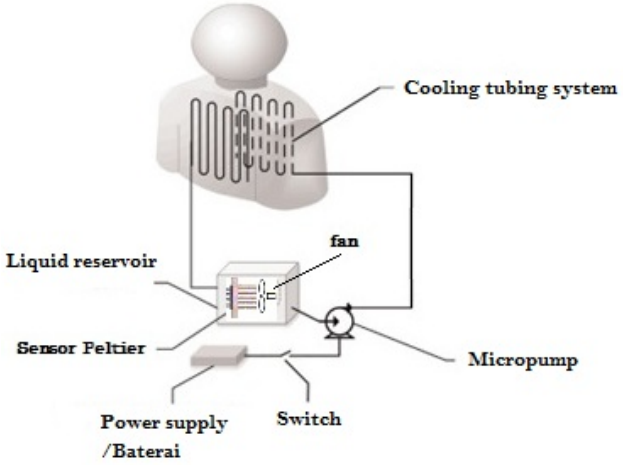
Perancangan *peltier device* terdiri dari tas pinggang dengan dimensi 175 x 130 x 90 mm, kipas 9 inchi, rangkaian thermostat W1209, *micropump* 6 volt DC, sensor peltier, tabung reservoir, dan catu daya/batrai. Semua alat dan bahan di rancang sebagai *peltier device* kedalam suatu tas pinggang.

ISBN 978-602-73461-8-5

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Prinsip Kerja LCG dengan *peltier device*

Mekanisme kerja dari sistem pendingin LCG menggunakan *peltier device*. Cairan pada tabung didorong oleh pompa mikro yang digerakkan oleh *power supply*, kemudian cairan didorong mikro pompa melewati tabung pipa pendingin sesuai gambar 2. Cairan tersebut didinginkan oleh sensor *peltier* yang di tempelkan pada reservoir kemudian dialirkan ke pipa rompi pendingin. Sisi *cold* sensor *peltier* di tempelkan pada reservoir, sedangkan sisi *hot peltier* ditempelkan pada pendingin kipas.



Gambar 2. Skema LCG *peltier device*

3.2. Rompi Pendingin

Desain rompi pendingin terbuat dari bahan sintetis jaring yang di lengkapi dengan pipa tabung silikon dengan pola spiral. Pipa silikon yang digunakan sepanjang 5,12 m pada bagian depan dan 6,52 meter pada bagian belakang. Diameter pipa dalam silikon sebesar 3 mm dan diameter luar sebesar 5 mm. Pipa tabung dijahit menggunakan benang wol dan *cable ties* agar dapat mengikat pipa tabung dengan kuat pada bagian dalamnya. Pada bagian luarnya dijahit kembali menggunakan benang jahit pada rompi dengan bahan busa dan puring menjadi dua bagian, yaitu bagian dada depan dan punggung belakang seperti pada Gambar 3.

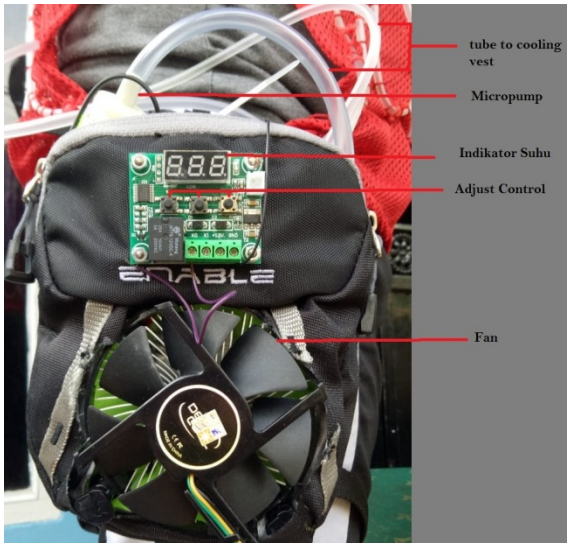
(a) (b)

Gambar 3. Rancangan rompi pendingin tampak depan dan beakang pada (a) bagian depan (b) bagian belakang

ISBN 978-602-73461-8-5

3.3. *Peltier Device*

Peltier device didesain ke dalam tas pinggang sehingga memudahkan dalam mobilitas. Pada bagian depan tas terdapat indikator suhu, kemudian pada indikator terdapat tiga tombol yaitu: *set up*, *up* dan *down*. Pada bagian bawah terdapat kipas yang berguna untuk mendinginkan sisi panas dari sensor *peltier*. Pada bagian dalam tas terdapat *micro pump* 12 Volt DC dan pipa saluran *inlet* dan *outlet* ke rompi pendingin.



Gambar 4. rancangan *peltier device*

3.4. Rancangan LCG dengan *peltier device*

Perancangan LCG pada penelitian ini terdiri dari dua bagian yaitu rompi pendingin dan *peltier device* . Spesifikasi rompi pendingin dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi rompi pendingin

Rompi pendingin	**Keterangan**
Dimensi	Rompi depan : 495 mm x 430 mm belakang : 605 mm x 415 mm Pipa tabung (*tube*) : ID 3 mm x OD 5 mm x 11641 mm
Bahan	Rompi : Sintetis jaring Pipa tabung (*tube*) : Silikon
Berat	500 - 600 gram

Pada Tabel 2 menjelaskan spesifikasi dari *peltier device.*

Tabel 2. Spesifikasi *peltier device*

Peltier Device	**Keterangan**
Dimensi	175 x 130 x 90 mm
Sistem *power supply*	*Micropump*: 12 Volt DC *Thermocontrol, fan*: 12 Volt DC 3A sensor *peltier*
Berat	750 - 800 gram

ISBN 978-602-73461-8-5

Pada spesifikasi, dapat dilihat bahwa dimensi dan berat dari LCG dengan *peltier device* lebih minimalis dan praktis dari penelitian-penelitian terdahulu. Dari segi pendinginan rancangan tersebut dapat memberikan efisiensi yang cukup baik karena dapat mendinginkan cairan hingga 19 ^{o}C.

(a) (b) (c)

Gambar. 5 Rancangan akhir LCG dengan *peltier device* (a) tampak depan (b) tampak samping (c) tampak belakang.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian mengenai perancangan LCG yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perancangan LCG menggunakan teknologi *peltier device* terbukti dapat meminimal dimensi dari LCG menjadi lebih praktis.
2. *Peltier device* dapat digunakan sebagai alternatif pendingin dari pakaian pelindung yang menggunakan teknologi LCG.
3. Membutuhkan *power supply* yang cukup besar untuk *peltier device* sehingga dapat memberikan pendinginan yang maksimal.
4. Rancangan LCG dengan menggunakan *peltier device* dapat digunakan oleh pekerja yang terpapar langsung oleh lingkungan yang panas dan olahragawan dalam melakukan aktivitasnya.

4.2 Saran

Adapun saran agar penelitian ini menjadi lebih baik, adalah sebagai berikut:

1. Dibutuhkan teknologi power baterai yang dapat men*supply peltier device* yang dapat memberikan pendinginan maksimal dengan waktu yang lama.
2. Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai desain rompi pendingin khususnya dengan metode LCG agar lebih efektif lagi dalam memberikan pendinginan.

ISBN 978-602-73461-8-5

Daftar Pustaka

Altman, P., Lashof, D., Knowlton, K., Chen, E., Johnson, L., Kalkstein, L., 2012, *Killer summer heat: projected death toll from rising temperatures in America due to climate change*. Natural Resources Defense Council Issue Brief, IB:12-05-C.

Bartkowiak, G., Dąbrowska, A. and Marszałek, A., 2014, Assessment of the Human Responses to the Influence of Personal Liquid Cooling System in the Hot Environment, *International Journal of Clothing Science and Technology*, Vol. 26 pp. 145-163.

Bartkowiak, G., Dąbrowska, A. and Marszałek, A., 2016, Assessment of an active liquid cooling garment intended for use in a hot environment, *Applied Ergonomic*, Vol. 58 pp. 182-189.

D'Angelo, M., D'Angelo, J. Almajali, M., Lafdi, K., Delort, A., Elmansori, M., 2013, Augmented cooling vest system subassembly: Design and analysis, *Energy Conversion and Management*, Vol. 79 pp. 140 – 145.

Fanger, 1982, *Thermal Comfort, Analysis and Aplications in Environmental Enginering*, Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar.

Guo, T., Shang, B., Duan, B., Luo, X., 2015, Design and testing of a liquid cooled garment for hot environments, *Journal Thermal of Biology*, pp. 49-50 , pp. 47-54.

Koppe, C., Kovats, S., Menne, B., Jendritzky, G., 2004*, Heat-waves: Risks and Responses.* World Health Organization, Copenhagen.

Luomala, Matti J., 2012, Adding a cooling vest during cycling improves performance in warmand humid conditions, *Journal of Thermal Biology,* Vol. 37 pp. 47–55.

Nicol, J.F., Humphreyes, M.A., 2002, Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standars For Buildings, *Energy and Buildings*, Vol. 34 pp. 563–572.

Nishihara, N., Tanabe, S., Hayama, H., Komatsu, M., 2001, A Cooling *Vest* for Working Comfortable in a Moderatly, Hot Environtment, *Journal Physiological Anthropology and Applied Human Science*, pp. 75-82.

Nunneley, S.A., 1970, *Water cooled garments: a review*, Space Life Sci. 2 , Vol. 3 pp. 335–360.

Wendt, D., Loon, L.J.C., and Lichtenbelt, W.D.M., 2007, Thermoregulation during Exercise in the Heat for Maintaining Health and Performance, *Sports Medicine*, Vol. 37, pp. 669-682.

ISBN 978-602-73461-8-5

Analisis Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Unit *Polyster* Berdasarkan Metode HAZOP di PT. ABC

Firgiawan Iksanja, Niko Siameva Uletika
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik
Universitas Jenderal Soedirman,
Jl. Mayjen Sungkono KM 5, Blater, Purbalingga 53371 Telp. (0281) 6596700
Email : fgw.iksan@gmail.com; nikosiameva@unsoed.ac.id

Intisari

PT. ABC merupakan sebuah perusahaan yang bergerak di bidang industri pengolahan kayu di kawasan Tasikmalaya, Jawa Barat. Salah satu produk yang dihasilkan dari perusahaan tersebut adalah Polyster Blockboard. Dalam memproduksi produk tersebut, Keselamatan dan Kesehatan Kerja bagi para pekerja menjadi hal penting yang harus diperhatikan oleh pihak Perusahaan. Walaupun perusahaan telah memiliki Panitia Pembina Kesehatan dan Keselamatan Kerja (P2K3) dan menerapkan Kebijakan K3, namun dalam pelaksanaan kegiatan produksinya masih terdapat beberapa potensi bahaya yang dapat menimbulkan kecelakaan kerja. Sebagai usaha untuk menurunkan angka kecelakaan kerja dilakukan identifikasi dan pengendalian potensi bahaya dengan menggunakan metode HAZOP melalui tiga tahapan yaitu identifikasi bahaya, penilaian risiko dan pengendalian bahaya. Hasil identifikasi ditemukan 50 potensi bahaya pada Unit Polyster dan kemudian digolongkan menjadi 11 sumber bahaya. Berdasarkan penilaian risiko terdapat 2 potensi (4%) bahaya kategori "Ekstrim", 12 potensi (24%) bahaya kategori "Tinggi", 27 potensi (54%) bahaya kategori "Sedang" dan 9 potensi (18%) bahaya kategori "Rendah". Penelitian ini menghasilkan rekomendasi berupa membuat jalur khusus forklift, melakukan maintenaince terhadap forklift, penerapan 5 R, peningkatan pengawasan K3 serta memberlakukan reward dan punishment dalam kepatuhan K3.
Kata kunci : Potensi bahaya, K3 dan Kecelakaan Kerja

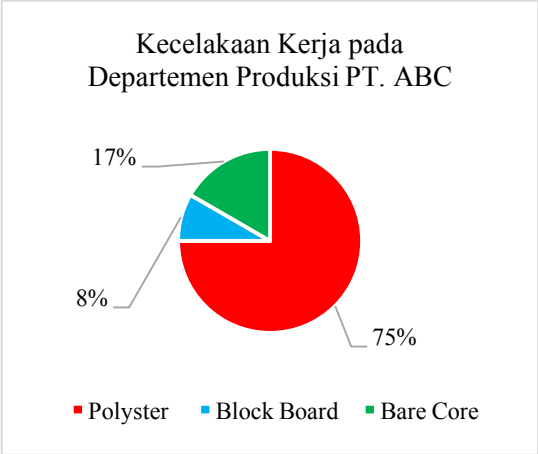
1. Pendahuluan

Keselamatan dan Kesehatan Kerja merupakan faktor penting yang perlu diperhatikan pihak perusahaan untuk menjamin hak - hak bagi para tenaga kerja sesuai dengan Peraturan Menteri Tenaga Kerja No. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja. Oleh sebab itu perusahaan perlu melakukan kegiatan K3 sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan salah satunya dengan analisis risiko kecelakaan kerja yang ada pada area produksi atau lingkungan kerja. (*International Labour Organization*, 2013)

PT. ABC merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri pengolahan kayu dengan 3 produk yaitu *Barecore, Blockboard* dan *Polyster Blockboard*. Keselamatan dan Kesehatan Kerja menjadi bagian penting yang perlu diperhatikan oleh pihak perusahaan untuk menjamin hak - hak bagi tenaga kerja. Berdasarkan data Panitia Pembina Keselamatan dan Kesehatan Kerja (P2K3) terdapat 12 kasus kecelakaan kerja selama bulan April sampai Juni 2018. Kasus kecelakaan kerja terjadi di unit *polyster* sebanyak 9 kasus (75%), unit *barecore* sebanyak 2 kasus (17%) dan unit *Blockboard* sebanyak 1 kasus (8%). Berdasarkan penggambaran masalah diatas, unit *polyster* memiliki kasus kecelakaan kerja dengan jumlah terbanyak dibandingkan unit lainnya. Maka perusahaan

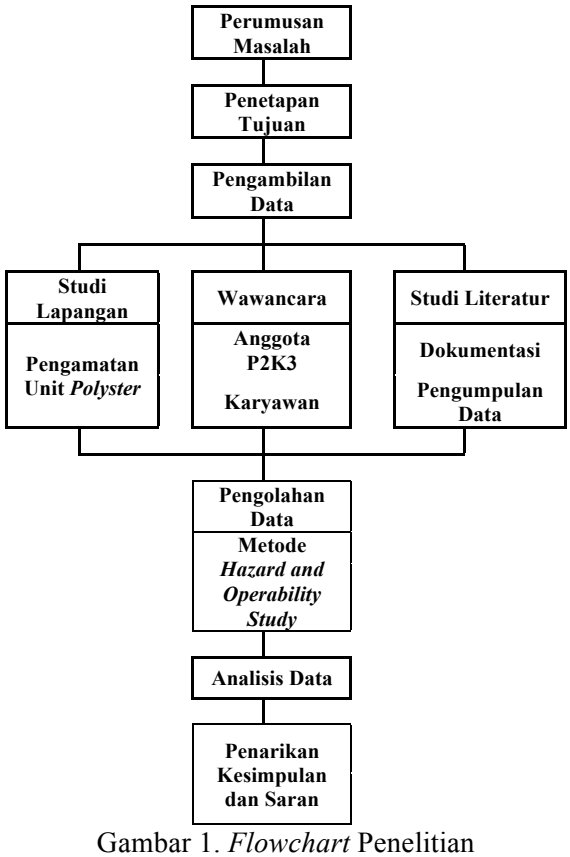
ISBN 978-602-73461-8-5

membutuhkan usaha peningkatan Keselamatan dan Kesehatan Kerja untuk mengurangi jumlah kasus kecelakaan kerja tersebut. Maka peneliti mencoba untuk menganilisis risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja menggunakan metode HAZOP (*Hazard and Operability Study*).



Gambar 1. Kecelakaan Kerja pada Departemen Produksi PT. ABC

2. Metode



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

ISBN 978-602-73461-8-5

Penelitian deskriptif memberikan gambaran secara jelas dan terbatas hasil peninjauan, pengamatan dan penilaian terhadap risiko keselamatan dan kesehatan kerja pada unit *polyster* PT. ABC. Sebagai usaha untuk menurunkan angka kecelakaan kerja dilakukan identifikasi dan pengendalian potensi bahaya dengan menggunakan metode HAZOP melalui tiga tahapan yaitu identifikasi bahaya, penilaian risiko dan pengendalian bahaya. (Wijanarko Edo. 2017)

2.1. Tahap Identifikasi Bahaya

Berikut ini merupakan tahapan yang dilakukan dalam identifikasi bahaya pada unit *polyster* PT. ABC:

1. Mengamati proses produksi di unit *polyster* PT. ABC.
2. Mendokumentasikan urutan proses produksi di unit *polyster* PT. ABC.
3. Menyiapkan tabel identifikasi bahaya (HAZOP *Worksheet*) yang berisi nomor, proses, uraian temuan *hazard* dan risiko.
4. Mengidentifikasi potensi bahaya yang dapat terjadi pada HAZOP *Worksheet* atau tabel identifikasi bahaya.

Tahap Penilaian Risiko

Untuk menentukan nilai risiko, terlebih dahulu dengan menentukan nilai *Likelihood* /kemungkinan dan nilai *consequences/*konsekuensi. Nilai risiko dapat dihitung secara manual dengan cara mengalikan nilai *likelihood* dan *cosequences*.

Dalam penentuan nilai *likelihood* harus mempertimbangkan kriteria dari *likelihood,* seperti tabel kriteria di bawah ini:

Tabel 1. Kriteria *Likelihood*

Level	Uraian	Deskripsi	
		Kualitatif	**Semi Kualitatif**
1	Jarang Terjadi	Dapat dipikirkan dan terjadi hanya saat keadaan ekstrim	Kurang dari 1 kali dalam 10 Tahun.
2	Kemungkinan Kecil	Belum terjadi tetapi bisa muncul atau terjadi pada suatu waktu.	Terjadi 1 kali per 10 Tahun.
3	Mungkin	Mungkin muncul disini atau tempat lain.	1 kali per 5 Tahun sampa 1 kali per Tahun.
4	Kemungkinan Besar	Dapat terjadi dengan mudah, muncul pada banyak keadaan	Lebih dari 1 kali per Tahun hingga 1 kali per Bulan.
5	Sering terjadi	Selalu terjadi pada setiap keadaan	Lebih dari 1 kali per Bulan.

Sumber: UNSW *Health and Safety* (2016)

Penentuan nilai *consequences* mempertimbangkan kriteria dari *consequences*. Setelah menentukan nilai *likelihood* dan *consequences* dari masing – masing sumber *hazard*, langkah berikutnya adalah mengalikan nilai *likelihood* dan *consequences* sehingga akan diperoleh tingkat bahaya/ *risk level* pada *risk matrix* yang akan digunakan untuk melakukan perangkingan terhadap sumber *hazard.* (Pujiono, B.N 2013)

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 2. Kriteria *Consequences*

Level	Uraian	Deskripsi	
		Keparahan Cidera	Hari Kerja
1	Tidak Signifikan	Kejadian tidak menimbulkan kerugian atau cidera pada manusia.	Tidak menyebabkan kehilangan hari kerja.
2	Kecil	Menimbulkan cidera ringan, kerugian kecil dan tidak menimbulkan dampak serius terhadap kelangsungan usaha.	Masih dapat bekerja pada hari atau shif yang sama.
3	Sedang	Cidera berat dan dirawat dirumah sakit, tidak menimbulkan cacat tetap, kerugian finansial besar.	Kehilangan hari kerja dibawah tiga hari.
4	Berat	Menimbukan Cidera parah, cacat tetap dan kerugian finansial besar serta menimbulkan dampak serius terhadap kelangsungan usaha.	Kehilangan hari kerja tiga hari atau lebih.
5	Bencana	Mengakibatkan korban meninggal dan kerugian parah bahkan dapat menghentikan kegiatan usaha untuk selamanya.	Kehilangan hari kerja selamanya.

Sumber: UNSW *Health and Safety* (2016)

Tabel 3. *Risk Matrix*

SKALA		CONSEQUENCES (KEPARAHAN)				
		1	2	3	4	5
LIKELIHOOD (KEMUNGKINAN)	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

Sumber: UNSW *Health and Safety* (2016)

Warna	Keterangan
	: Ekstrim
	: Risiko Tinggi
	: Risiko Sedang
	: Risiko Rendah

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 4. Contoh Tabel Penilaian Risiko

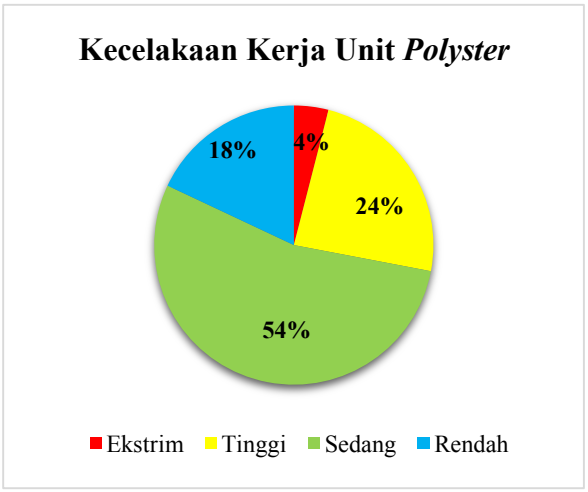
Temuan *Hazard*	**Risiko**	**Sumber *Hazard***	**L**	**C**	**S**	**Kategori**	
						Risk Level	**Warna**
Pada lantai terdapat serpihan kayu	Kaki dapat berdarah karena tertusuk kayu	Serpihan Kayu	3	1	3	Rendah	

2.2. Tahap Pengendalian Risiko

Setelah menentukan penilaian risiko, langkah selanjutnya adalah mengendalikan risiko terhadap bahaya yang terjadi. Pengendalian risiko sendiri bisa dimulai dari perbaikan metode kerja, sikap pekerja, melakukan *maintainance* terhadap mesin, dan lain-lain.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil identifikasi potensi bahaya terdapat 11 proses atau kegiatan pada unit *polyster* PT. ABC dengan total 50 risiko kecelakaan kerja. Risiko kecelakaan kerja pada unit *polyster* digolongkan menjadi 4 kategori, yaitu "Ekstrim, "Tinggi", "Sedang", dan "Rendah". Pada Unit *Polyster* PT. ABC terdapat 2 potensi (4%) bahaya dengan kategori "Ekstrim", 12 potensi (24%) bahaya dengan kategori "Tinggi", 27 potensi (54%) bahaya dengan kategori "Sedang" dan 9 potensi (18%) bahaya dengan kategori "Rendah". Hal tersebut dapat dilihat pada diagram pie risiko kecelakaan kerja unit *polyster* PT. ABC.



Gambar 3. Kecelakaan Kerja Unit *Polyster*

3.1. Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko di Unit *Polyster*

1. Proses Proses Pemindahan *Blockboard* ke *Lamcoating*
   Berdasarkan hasil identifikasi potensi bahaya terdapat 8 temuan bahaya, 1 sumber bahaya kategori "ekstrim" yaitu *forklift* dengan *risk* bernilai 20; 4 sumber bahaya kategori "sedang" yaitu sikap pekerja, kabel dan sisa lem dengan *risk* bernilai 5,5,5, dan 6; dan 3 sumber bahaya kategori "rendah" yaitu serpihan kayu dan balok balok kayu dengan *risk* masing - masing bernilai 3.

ISBN 978-602-73461-8-5

2. Proses *Lamcoating*
   Berdasarkan hasil identifikasi potensi bahaya terdapat 13 temuan bahaya, 1 sumber bahaya kategori "ekstrim" yaitu *forklift* dengan *risk* bernilai 20; 2 sumber bahaya kategori "tinggi" yaitu sikap pekerja dengan *risk* masing - masing bernilai 12; 7 sumber bahaya kategori "sedang" yaitu sikap pekerja, mesin, sisa lem, yaitu lubang di area *conveyor* dan balok kayu dengan *risk* masing – masing bernilai 5; dan terdapat 3 sumber bahaya kategori "rendah" yaitu kabel dan balok balok kayu dengan *risk* masing - masing bernilai 3.
3. Proses Penuangan *Polyster*
   Berdasarkan hasil identifikasi potensi bahaya terdapat 5 temuan bahaya, 2 sumber bahaya kategori "tinggi" yaitu sikap pekerja dan ventilasi udara dengan *risk* masing – masing bernilai 12; dan 2 sumber bahaya kategori "sedang" yaitu sikap pekerja dan wadah air dengan *risk* masing masing bernilai 5; 1 sumber bahaya kategori "rendah" yaitu kabel dengan nilai *risk* sebesar 3.
4. Proses Perakitan Film
   Berdasarkan hasil identifikasi potensi bahaya terdapat 2 temuan bahaya, 1 sumber bahaya kategori "tinggi" yaitu sikap pekerja dengan nilai *risk* sebesar 12; dan 1 sumber bahaya kategori "sedang" yaitu sikap pekerja dengan nilai *risk* sebesar 5.
5. Proses Peletakan Film
   Berdasarkan hasil identifikasi potensi bahaya terdapat 1 temuan bahaya yaitu 1 sumber bahaya kategori "tinggi" yaitu sikap pekerja dengan nilai *risk* sebesar 12.
6. Proses *Rolling* Tangan
   Berdasarkan hasil identifikasi potensi bahaya terdapat 3 temuan bahaya, 1 sumber bahaya kategori "tinggi" yaitu sikap pekerja dengan *risk* bernilai 12;dan 2 sumber bahaya tergolong kategori "sedang" yaitu sikap pekerja dengan *risk* masing - masing bernilai 5.
7. Proses Pembukaan *Polyster*
   Berdasarkan hasil identifikasi potensi bahaya terdapat 3 temuan bahaya, 1 sumber bahaya kategori "tinggi" yaitu sikap pekerja dengan *risk* bernilai 12;dan 2 sumber bahaya tergolong kategori "sedang" yaitu sikap pekerja dengan *risk* masing - masing bernilai 5.
8. Proses Serut
   Berdasarkan hasil identifikasi potensi bahaya terdapat 8 temuan bahaya, 1 sumber bahaya kategori "tinggi" yaitu sikap pekerja dengan *risk* bernilai 12; 4 sumber bahaya kategori "sedang" yaitu sikap pekerja dengan *risk* masing – masing bernilai 5; 3 sumber bahaya kategori "rendah" yaitu sikap pekerja, balok kayu, kabel, alat perkakas dengan *risk* masing – masing bernilai 3.
9. Proses Revisi
   Berdasarkan hasil identifikasi potensi bahaya terdapat 3 temuan bahaya, 1 sumber bahaya kategori "tinggi" yaitu sikap pekerja dengan *risk* bernilai 12; dan 2 sumber bahaya kategori "sedang" yaitu sikap pekerja dengan *risk* masing – masing bernilai 5.
10. Proses Proteksi
    Berdasarkan hasil identifikasi potensi bahaya terdapat 1 temuan bahaya yaitu 1 sumber bahaya kategori "tinggi" yaitu sikap pekerja dengan nilai *risk* sebesar 12
11. Proses *Packaging*
    Berdasarkan hasil identifikasi potensi bahaya terdapat 3 temuan bahaya, 1 sumber bahaya kategori "tinggi" yaitu sikap pekerja dengan *risk* bernilai 12; 2 sumber bahaya kategori "sedang" yaitu sikap pekerja dengan *risk* masing – masing bernilai 5.

ISBN 978-602-73461-8-5

Setelah proses identifikasi potensi bahaya dilakukan, ditemukan sebanyak 50 sumber *hazard*. Langkah selanjutnya adalah menggolongkan berdasarkan jenis sumbernya menjadi 11 sumber *hazard*, yaitu sikap pekerja, kabel, balok balok kayu, sisa lem, *forklift*, mesin, lubang di area *conveyor*, serpihan kayu, wadah air, ventilasi udara dan alat perkakas.

Tabel 5. Sumber *Hazard*

No	Sumber *Hazard*	Jumlah
1	Sikap pekerja	32
2	Kabel	4
3	Balok balok Kayu	3
4	Sisa Lem	2
5	Forklift	2
6	Mesin	2
7	Lubang di Area Conveyor	1
8	Serpihan Kayu	1
9	Wadah air	1
10	Ventilasi Udara	1
11	Alat perkakas	1
		50

3.2. Perangkingan Risiko

Berdasarkan hasil identifikasi bahaya dan penialaian risiko, maka langkah selanjutnya melakukan perangkingan risiko. Berikut ini merupakan tabel perangkingan risiko, yang ditentukan berdasarkan pada kriteria *likelihood, consequences* dan data kecelakaan kerja pada unit *polyster*.

Tabel 6.Perangkingan Risiko

No	Sumber *Hazard*	L	C	L x C	Warna	*Risk Level*
1	*Forklift*	4	5	20		Ekstrim
2	Sikap pekerja	4	3	12		Tinggi
3	Ventilasi Udara	4	3	12		Tinggi
4	Sikap pekerja	5	1	5		Sedang
5	Sisa Lem	5	1	5		Sedang
6	Wadah air	5	1	5		Sedang
7	Mesin	5	1	5		Sedang
8	Lubang di Area *Conveyor*	5	1	5		Sedang
9	Alat perkakas	5	1	5		Sedang
10	Serpihan Kayu	3	1	3		Rendah

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Sumber *Hazard*	L	C	L x C	Warna	*Risk Level*
11	Kabel	3	1	3		Rendah
12	Balok balok Kayu	3	1	3		Rendah

3.3. Pengendalian Risiko Unit *Polyster*

Berdasarkan hasil perangkingan risiko, terdapat 3 sumber bahaya yang harus segera diperbaiki, yaitu *forklift,* sikap pekerja dan ventilasi udara. Di bawah ini merupakan pengendalian risiko bahaya dengan kategori "Ekstrim" dan "Tinggi":

1. Pengendalian risiko bahaya "*Forklift"* dapat dilakukan dengan cara membuat jalur khusus *forklift* di area produksi unit *polyster* PT. ABC.
2. Pengendalian risiko bahaya "Sikap pekerja", dapat dilakukan dengan cara menggunakan APD (Sepatu *safety*, sarung tangan dan masker) selama proses produksi di unit *polyster* PT. ABC.
3. Pengendalian risiko bahaya "Ventilasi Udara", dapat dilakukan dengan cara menambah jumlah ventilasi di area produksi unit *polyster* PT. ABC.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil pembahasan dan analisis data yang telah dilakukan pada bagian sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Dengan menggunakan metode HAZOP (*Hazard and Operability Study*) ditemukan sebanyak 50 sumber *hazard* pada unit *polyster* dan digolongkan menjadi 4 kategori, yaitu "Ekstrim, "Tinggi", "Sedang", dan "Rendah". Pada unit *polyster* PT. ABC terdapat 2 potensi (4%) bahaya dengan kategori "Ekstrim", 12 potensi (24%) bahaya dengan kategori "Tinggi", 27 potensi (54%) bahaya dengan kategori "Sedang" dan 9 potensi (18%) bahaya dengan kategori "Rendah" serta berdasarkan jenis sumbernya digolongkan menjadi 11 sumber *hazard*, yaitu sikap pekerja, kabel, balok balok kayu, sisa lem, *forklift*, mesin, lubang di area *conveyor*, serpihan kayu, wadah air, ventilasi udara dan alat perkakas.

Berdasarkan pembahasan dan analisis data yang telah dilakukan pada bagian sebelumnya, maka saran yang dapat diberikan sebagai berikut:

1. Perusahaan perlu membuat jalur khusus *forklift* di unit *polyster* PT. ABC.
2. Perusahaan perlu menerapakan 5 R (Resik, Rapi, Rajin, Ringkas dan Rawat) dalam menjalankan aktivitas produksi di unit *polyster* PT. ABC untuk meningkatkan Keselamatan dan Kesehatan Kerja.
3. Perusahaan harus meningkatkan pengawasan terhadap pekerja dalam hal keselamatan dan kesehatan kerja.
4. Perusahaan harus memberikan *reward* dan *punishment* terhadap tenaga kerja yang melanggar kebijakan keselamatan dan kesehatan kerja di PT. ABC.

Daftar Pustaka

Pujiono, B.N., Tama, P.I., dan Efranto, R.Y., 2013, Analisis Potensi Bahaya Serta Rekomendasi Perbaikan Dengan Metode Hazard and Operability Study (HAZOP) Melalui Perangkingan OHS Risk Assesment And Control, Universitas Brawijaya, Malang.

Euis, J., Yadi, H.Y., dan Umyati A., 2015, Identifikasi Potensi Bahaya Dengan Metode Hazard And Operability Study (HAZOP) Di Area Boiler PT. XYZ. *Jurnal Teknik Industri*. Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang Banten.

International Labour Organization, 2013, Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Tempat Kerja Sarana Untuk Produktivitas, Modul 5, ILO, Jakarta

ISBN 978-602-73461-8-5

UNSW Health and Safety, 2016, HS329 Risk Management Procedure. Canberra: University of New South Wales, akses online 8 September 2018, https://safety.unsw.edu.au/risk-management-program.

Wijanarko Edo. 2017, *Tugas Akhir : Analisis Risiko Keselamatan Pengunjung Teminal Purabaya Menggunakan Metode HIRAC (Hazard Identification Risk Assesment and Risk Control)***,** Skripsi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Insitut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.

ISBN 978-602-73461-8-5

Perbaikan Kondisi Iklim Kerja pada Industri XYZ, Surakarta

Ghina Nurrahma, Bambang Suhardi, Rahmaniyah Dwi Astuti
Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36A, Kentingan, Surakarta. 57126
Telp. (0271) 632110
E-mail: ghinanurrahma05@gmail.com

Intisari

Industri XYZ merupakan sebuah industri yang bergerak pada produksi batik. Dari pengamatan awal yang telah dilakukan, terdapat empat stasiun kerja dimana pada seluruh stasiun memiliki temperatur yang cukup panas dalam waktu yang lama. Rata-rata temperatur yang diperoleh dari pengamatan awal adalah sebesar 35,7°C. Selain itu, didapati pula waktu produktifitas pekerja yang terbuang selama kurang lebih 30 menit setiap orangnya. Hal tersebut dikarenakan para pekerja yang berupaya untuk mencari kondisi lingkungan yang lebih sejuk dan nyaman. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan upaya solusi perbaikan terhadap iklim kerja yang terjadi pada Industri XYZ. Metode yang digunakan adalah berupa pengukuran langsung faktor iklim kerja berupa temperatur dan kecepatan angin, Indeks Suhu Basah dan Bola (ISBB), serta beban kerja. Dari pengolahan data yang dilakukan kemudian akan diusulkan sebuah perbaikan berupa penambahan ventilasi alami untuk setiap stasiunnya sesuai dengan kebutuhan minimal yang telah ditetapkan.

Kata Kunci: iklim kerja, temperatur, kecepatan angin, ISBB, ventilasi.

1. Pendahuluan

Iklim lingkungan kerja merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi performansi pekerjanya (Vimalanathan, 2013). Dimana iklim kerja merupakan hasil perpaduan antara temperatur, kelembaban udara, kecepatan angin, dan panas radiasi (Permenakertrans No.13, 2011). Ketidaknyamanan yang disebabkan iklim lingkungan kerja dapat mempengaruhi performansi dari pekerjanya (Lan, Wargocki, dan Lian, 2011). Iklim kerja yang ekstrim dapat berdampak pada meningkatnya beban kerja pagi pekerjanya (Purwaningsih, 2016). Beban kerja dapat diartikan sebagai beban yang dialami oleh tenaga kerja sebagai akibat dari pekerjaan yang dilakukan. Beban kerja yang diterima oleh seseorang harus sesuai terhadap kemampuan fisik, kognitif, serta keterbatasan manusia (Tarwaka, 2004).

Industri XYZ merupakan industri yang bergerak dalam bidang produksi batik. Studi pendahuluan yang telah dilakukan didapatkan temperatur pada stasiun pengecapan sebesar 35,8°C, stasiun pewarnaan sebesar 35,6°C, stasiun penglorodan sebesar 36°C, dan stasiun membatik sebesar 35,7°C dimana rata-rata secara keseluruhan adalah sebesar 35,78°C. Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 1405/MENKES/SK/XI/ 2002 tentang Persyaratan kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri menyebutkan bahwa temperature yang dapat diterima adalah 18-28°C.

Selain itu, akibat dari udara panas yang dirasakan dan sedikitnya bukaan ventilasi ruangan yang ada, membuat beberapa pekerja memilih untuk melepas pakaian atasnya ketika bekerja dengan harapan dapat merasakan kondisi yang lebih sejuk dan nyaman.

ISBN 978-602-73461-8-5

Keberadaan ventilasi pada sebuah bangunan di daerah tropis memiliki peran penting bagi ksehatan dan dalam menciptakan kenyamanan termal ruang tertutup. Kepmenkes RI nomor 1405 tahun 2002 juga menyebutkan bahwa pada ruang kerja tidak ber-AC setidaknya harus memiliki luas ventilasi minimal 15% dari luas lantai (Indrani, 2008).

Selain itu, didapati pula beberapa pekerja yang mencuri-curi waktu dimana setidaknya dapat mengurangi waktu kerja rata-rata selama 30 menit. Dalam waktu tersebut, didapati pekerja yang berlalu lalang keluar masuk pabrik, mencari minuman di luar pabrik, bahkan beristirahat sejenak di teras pabrik, atau terdapat pula yang hanya beristirahat sejenak di stasiunnya. Apabila hal ini terus menerus terjadi, proses produksi dapat terhambat dan menimbulkan potensi kerugian dari perusahaan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu dilakukan analisa pada iklim kerja pada industri XYZ sehingga dapat memberikan usulan perbaikan. Dalam penelitian ini, pengukuran iklim kerja hanya dilakukan pada temperatur dan kecepatan angin.

2. Metode

Penelitian dilakukan berdasarkan data yang didapat dari hasil pengukuran secara langsung pada Industri XYZ. Data yang diukur meliputi iklim kerja berupa temperatur dan kecepatan udara, Indeks Suhu Basah dan Bola (ISBB), serta beban kerja dari aktivitas pekerja. Adapun data pendukung yang digunakan dalam penelitian ini berupa profil perusahaan seperti jumlah pekerja, lokasi perusahaan, serta denah dan *layout* perusahaan. Setelah memperoleh data yang diperlukan, kemudian dilakukan pengolahan terhadap data tersebut. Pengolahan data yang dilakukan meliputi pengolahan nilai ISBB, penilaian nilai beban kerja dan kebutuhan kalori/jam, dan perhitungan ventilasi. Dalam perhitungan ventilasi dilakukan sebuah simulasi untuk mengetahui hasil dari usulan terhadap kondisi iklim kerja berupa temperatur dan kecepatan angin yang terdapat pada Industri XYZ, Surakarta.

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam melakukan pengukuran iklim kerja, digunakan SNI 16-7062-2004 tentang Pengukuran Intensitas Penerangan di Tempat Kerja. Pengukuran terhadap temperatur dan kecepatan angin dilakukan selama tiga hari pada jam kerja yaitu 8:00 – 16:00. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan *environment meter digital* sedangkan pengukuran kecepatan angin menggunakan *anemometer*.

Setelah melakukan pengukuran selama tiga hari pada setiap titik, dilakukan perhitungan rata-rata terhadap data pada setiap stasiunnya. Nilai ambang batas (NAB) yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada Kepmenkes RI no.1405 tahun 2002 dimana temperatur yang diizinkan adalah sebesar 18 – 28°C dan kecepatan angin yang diizinkan adalah sebessar 0,15 – 0,25m/s. Hasil pengukuran rata-rata temperatur dan kecepatan angin pada setiap stasiun kerja dapat dilihat pada tabel 1 dan 2 berikut.

Tabel 1. Rata-Rata Hasil Pengukuran Temperatur

Stasiun	Temperatur (°C)	Keterangan
Pengecapan 1	32,66	Perlu perbaikan
Pengecapan 2	33,03	Perlu perbaikan
Pengecapan 3	33,16	Perlu perbaikan
Pengecapan 4	33,29	Perlu perbaikan
Pewarnaan	33,33	Perlu perbaikan
Penglorodan	33,72	Perlu perbaikan
Membatik	33,28	Perlu perbaikan

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 2. Rata-Rata Hasil Pengukuran Kecepatan Angin

Stasiun	Kecepatan Angin (m/s)	Keterangan
Pengecapan 1	0.008	Perlu perbaikan
Pengecapan 2	0.056	Perlu perbaikan
Pengecapan 3	0.004	Perlu perbaikan
Pengecapan 4	0.066	Perlu perbaikan
Pewarnaan	0.069	Perlu perbaikan
Penglorodan	0	Perlu perbaikan
Membatik	0.0511	Perlu perbaikan

Selanjutnya dilakukan pengukuran ISBB dengan menggunakan *area heatstress monitor*. ISBB sendiri merupakan salah satu parameter untuk menilai iklim kerja yang merupakan hasil perhitungan antara suhu udara kering, suhu basah alami, dan suhu bola. Perhitungan ISBB sendiri terbagi menjadi dua jenis yaitu ISBB *outdoor* dan ISBB *indoor*. Berikut merupakan rumus dari pengukuran tersebut :

ISBB *Outdoor* = 0,7 SBA + 0,2 SG + 0,1
SK.....(1)

ISBB *Indoor* = 0,7 SBA + 0,3
SG.....(2)

Keterangan :
SBA : Suhu basah alami dalam ℃ (derajat Celcius)
SG : Suhu *globe* (bola) dalam ℃ (derajat Celcius)
SK : Suhu bola kering dalam ℃ (derajat Celcius)

NAB yang digunakan dalam pengukuran ISBB didasari oleh SNI 16-7063-2004 tentang NAB Iklim Kerja (panas), Kebisingan, Getarangan Tangan-Lengan dan Radiasi Sinar Ultra Ungu di Tempat Kerja. NAB ISBB dalam SNI tersebut dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. NAB Iklim kerja (ISBB)

Beban Kerja	Temperatur (℃)
Ringan	30,0
Sedang	26,7
Berat	25,0

Catatan :
a. Beban kerja ringan dibutuhkan kalori sampai dengan 200kkal/jam
b. Beban kerja sedang membutuhkan kalori lebih dari 200 – kurang dari 350kkal/jam
c. Beban kerja berat membut uhkan kalori lebih dari 350 – kurang dari 500 kkal/jam.

Pengukuran ISBB dilakukan selama satu hari sebanyak tiga kali yaitu pada pukul 9:00, 12:00, dan 16:00. Pengukuran tersebut dilakukan tepat di tengah ruangan pada setiap stasiunnya. Adapun hasil pengukuran ISBB tertinggi pada setiap stasiunnya dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Pengukuran ISBB

No	Stasiun	Suhu Bola Basah (°C)	Suhu Bola Kering (°C)	Suhu Bola (°C)	ISBB (°C)
1	Pengecapan 1	27.8	35.2	35.6	30
2	Pengecapan 2	27.5	35.6	36.2	30.2
3	Pengecapan 3	27.6	35.8	36.3	30.1

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Stasiun	Suhu Bola Basah (°C)	Suhu Bola Kering (°C)	Suhu Bola (°C)	ISBB (°C)
4	Pengecapan 4	27.4	35.4	36	30
5	Pewarnaan	28.8	33.3	33.4	30.4
6	Penglorodan	25.6	31.6	31.5	27.4
7	Membatik	27.4	35.3	36.2	30

Adapun dilakukan perhitungan secara manual dari ISBB yang telah diukur dengan menggunakan rumus (2). Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan ISBB Manual

No	Stasiun	ISBB Pengukuran (°C)	ISBB Hitung (°C)	Selisih (°C)
1	Pengecapan 1	30	30,14	0,14
2	Pengecapan 2	30.2	30,11	0,09
3	Pengecapan 3	30.1	30,21	0,11
4	Pengecapan 4	30	29,98	0,02
5	Pewarnaan	30.4	30,18	0,22
6	Penglorodan	27.4	27,37	0,03
7	Membatik	30	30,04	0,04

Selanjutnya pada penilaian beban kerja, dilakukan penilaian pada setiap stasiun kerja dengan didasari pada SNI 7269-2009 tentang Penilaian Beban Kerja Berdasarkan Tingkat Kebutuhan Kalori Menurut Pengeluaran Energi. Dalam penilaiannya, terlebih dahulu dilakukan penilaian aktivitas kerja dimana hasil dari penilaian tersebut dapat dilihat pada tabel 6 beriukt.

Tabel 6. Hasil Penilaian Aktivitas Kerja

Stasiun	Pekerjaan	Waktu (menit)	Kategori	Posisi Badan			
				Duduk	Berdiri	Berjalan	Berjalan Mendaki
Pengecapan 1, Pengecapan 2,	Persiapan di meja kerja	1	2-I	-	1.5	-	-
Pengecapan 3, Pengecapan 4	Pengecapan pada kain	56.25	3-II	-	2.85	-	-
	Melipat hasil kerja	1.5	3-I	-	1.85		
	Meletakkan hasil kerja	1.25	3-II	-	-	5.25	
Pewarnaan	Mengambil kain	1.25	3-I	-	-	4.25	-
	Mencampur warna	3.25	3-I	-	1.95	-	-
	Mencelup-celupkan kain	27.25	3-II	-	2.85	-	-
	Menyikat kain	28	4-II	-	9.35	-	-
	Meletakkan kain	0.25	2-I	-	1.2		
Penglorodan	Mengambil kain	1.5	3-I	-	-	4.25	-
	Menyalakan tungku	3.5	3-I	-	1.95	-	-
	Mencelup-celupkan kain	24.25	3-II	-	2.85	-	-
	Menyikat kain	28.5	4-II	-	9.35	-	-

ISBN 978-602-73461-8-5

Stasiun	Pekerjaan	Waktu (menit)	Kategori	Posisi Badan			
				Duduk	Berdiri	Berjalan	Berjalan Mendaki
Membatik	Membawa kain ke tempat penjemuran	2.25	3-I	-	-	4.25	-
	Mengambil kain serta peralatan	2.5	3-I	-	-	4.25	-
	Meletakkan kain pada gawangan	2	3-I	1.55	-	-	-
	Menyalakan kompor	1.25	1-II	1	-	-	-
	Proses mencanting	52.75	4-I	4.05	-	-	-
	Meletakkan kain	1.5	2-I	-	-	3.9	

Setelah dilakukan penilaian aktivitas kerja, kemudian dilakukan perhitungan total beban kerja dari setiap stasiun serta pengkategorian. Hasil dari penilaian tersebut dapat dilihat pada tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil Penilaian Total Beban Kerja

No.	Stasiun Kerja	Penilaian Aktivitas (kkal/jam)	Kategori
1	Pengecapan 1	171.151	Ringan
2	Pengecapan 2	171.151	Ringan
3	Pengecapan 3	171.151	Ringan
4	Pengecapan 4	171.151	Ringan
5	Pewarnaan	351.413	Berat
6	Penglorodan	358.35	Berat
7	Membatik	234.463	Sedang

Dengan mengetahui kategori beban kerja dari setiap stasiun kerja, kemudian dapat ditentukan apakah kondisi iklim kerja pada setiap stasiunnya sesuai dengan NAB yang digunakan atau tidak. Penilaian beban kerja yang telah dibandingkan dengan NAB terhadap iklim kerja yang digunakan dari setiap stasiunnya dapat dilihat pada tabel 8 berikut.

Tabel 8. Penilaian Beban Kerja Iklim Kerja

No	Stasiun	ISBB Hitung (°C)	Beban Kerja	Hasil
1	Pengecapan 1	30.14	Ringan	Tidak diperkenankan
2	Pengecapan 2	30.11	Ringan	Tidak diperkenankan
3	Pengecapan 3	30.21	Ringan	Tidak diperkenankan
4	Pengecapan 4	29.98	Ringan	Diperkenanan
5	Pewarnaan	30.18	Berat	Tidak diperkenankan
6	Penglorodan	27.37	Berat	Tidak diperkenankan
7	Membatik	30.04	Sedang	Tidak diperkenankan

Berdasarkan pengumpulan dan pengolahan data yang telah dilakukan, diberikan usulan perbaikan berupa penambahan ventilasi alami pada setiap stasiunnya. Pada SNI 03-6572-2001 menyebutkan bahwa ventilasi merupakan proses untuk mengalirkan udara segar ke dalam gedung dalam jumlah yang sesuai dengan kebutuhan. Ventilasi terdiri dari dua jenis yaitu ventilasi alami dan ventilasi mekanik.

ISBN 978-602-73461-8-5

Dalam penelitian ini, usulan yang diberikan adalah berupa ventilasi alami. Ventilasi alami memiliki prinsip kerja dimana pemasukan dan pengeluaran udara dalam ruang terjadi karena adanya perbedaan tekanan udara di luar dan dalam gedung. Dengan adanya ventilasi alami. Dalam Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 tahun 2002, disebutkan bahwa pada ruang kerja yang tidak ber-AC harus memiliki ventilasi minimal 15% dari luas lantai yang ada. Berdasarkan dengan peraturan tersebut, dilakukan perhitungan luas ventilasi minimal dari setiap stasiunnya. Hasil tersebut dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Luas Ventilasi Minimal Setiap Stasiun

No.	Stasiun	Luas (m^2)	Minimal Luas Ventilasi (m^2)
1	Pengecapan 1	97,44	14,62
2	Pengecapan 2	35,7	5,36
3	Pengecapan 3	40,8	6,12
4	Pengecapan 4	38,15	5,72
5	Pewarnaan	66,88	10,03
6	Penglorodan	27	4,05
7	Membatik	47,94	7,19
	Total	353,91	53,09

Adapun kondisi awal luas ventilasi yang ada pada Indsutri XYZ yang dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Luas Ventilasi Awal Setiap Stasiun

Stasiun	Luas tiap Ventilasi (m^2)	Jumlah	Luas Total (m^2)
Pengecapan 1	0.5	3	3.5
	1	2	
Pengecapan 2	1	3	3
Pengecapan 3		0	
Pengecapan 4	2	2	4
Pewarnaan	14	1	14
Penglorodan	4.5	1	4.5
Membatik	0.5	3	1.5

Berdasarkan kebutuhan luas ventilasi minimal yang telah dihitung dan luas setiap ventilasi yang akan dibuat, dapat ditentukan jumlah dari ventilasi yang akan diusulkan. Ukuran bukaan ventilasi jendela yang digunakan adalah seluas 1,7m^2. Jumlah ventilasi yang dibutuhkan didapatkan dengan membagi luas minimal ventilasi dengan luas setiap ventilasi yang ada. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 11.

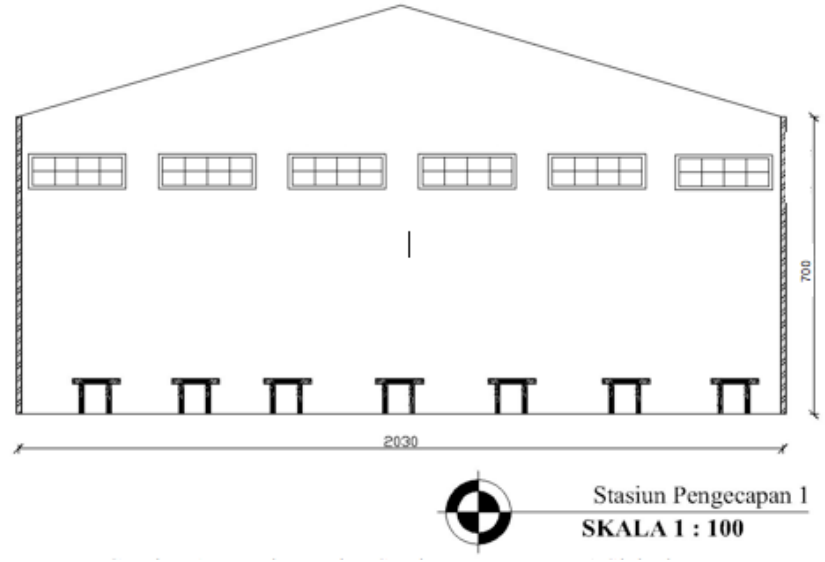
Tabel 11. Jumlah Kebutuhan Ventilasi Setiap Stasiun

Stasiun	Luas Ventilasi Minimal (m^2)	Luas tiap Ventilasi(m^2)	Jumlah Ventilasi Dibutuhkan	
Pengecapan 1	14.62	1.7	8.60	9
Pengecapan 2	4.15	1.7	2.44	2
Pengecapan 3	10.32	1.7	6.07	6

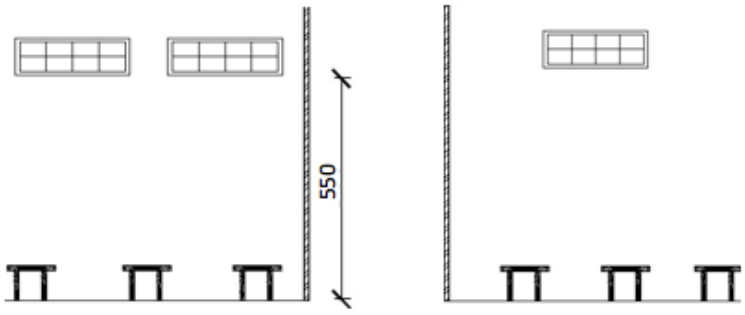
ISBN 978-602-73461-8-5

Stasiun	Luas Ventilasi Minimal (m^2)	Luas tiap Ventilasi(m^2)	Jumlah Ventilasi Dibutuhkan	
Pengecapan 4	3.62	1.7	2.13	2
Pewarnaan	10.03	14	0.72	1
Penglorodan	4.05	1.7	2.38	2
Membatik	7.19	1.7	4.23	4

Stasiun pengecapan 1, stasiun pewarnaan, dan stasiun penglorodan terletak pada lantai 1 sedangkan stasiun pengecapan 2, 3, dan 4, serta stasiun membatik terletak pada lantai 2. Adapun setelah diketahui jumlah kebutuhan ventilasi pada setiap stasiun, kemudian dirancang ventilasi pada setiap stasiun yang dapat dilihat pada gambar 1 sampai 6 berikut.

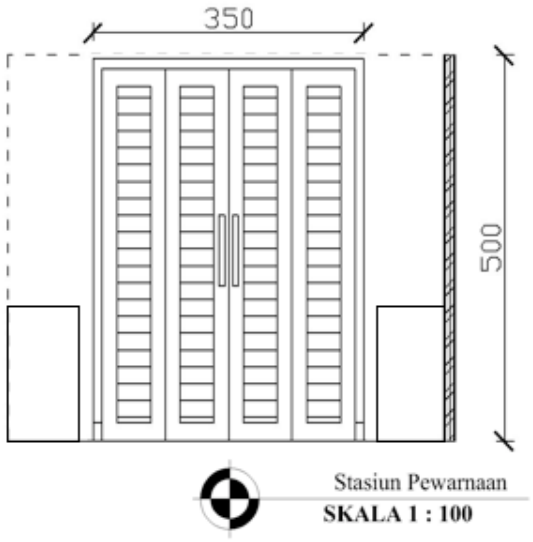


Gambar 1. Desain Usulan Stasiun Pengecapan 1 Sisi Timur

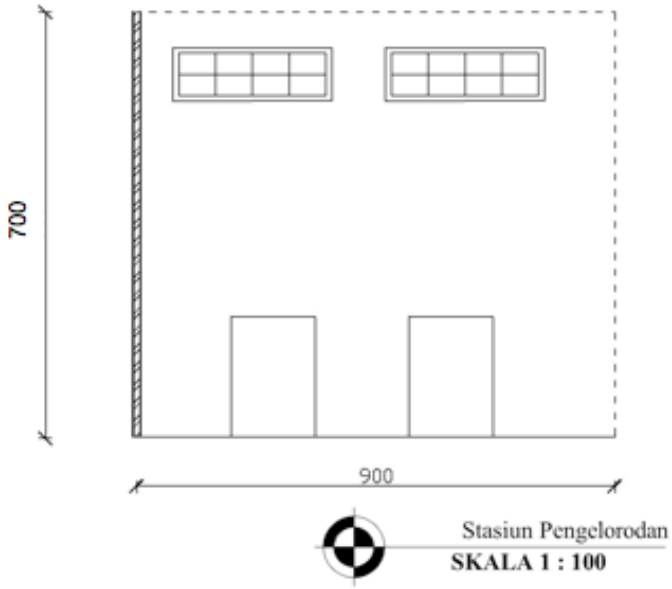


Gambar 2. Desain Usulan Stasiun Pengecapan 1 Sisi Utara dan Selatan

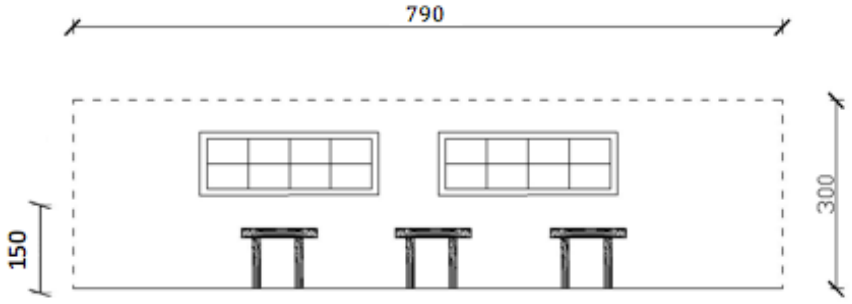
ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 3. Desain Usulan Stasiun Pewarnaan

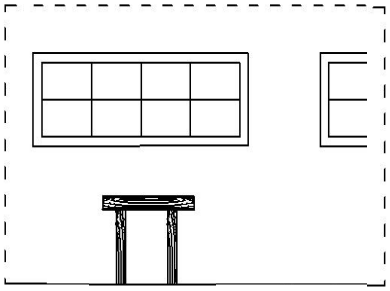


Gambar 4. Desain Usulan Stasiun Penglorodan

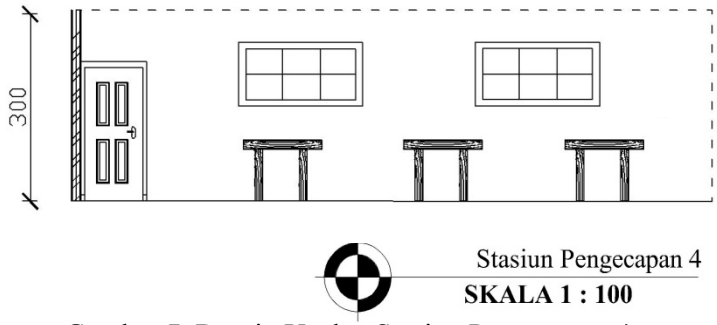


Gambar 5. Desain Usulan Stasiun Pengecapan 2

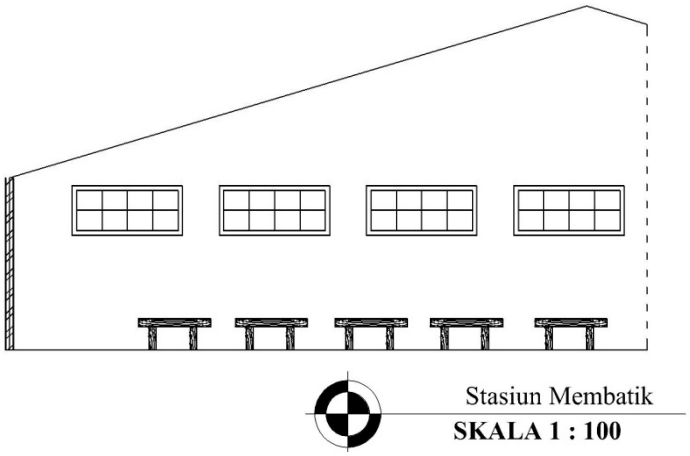
ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 6. Desain Usulan Stasiun Pengecapan 3 Sisi Utara dan Selatan



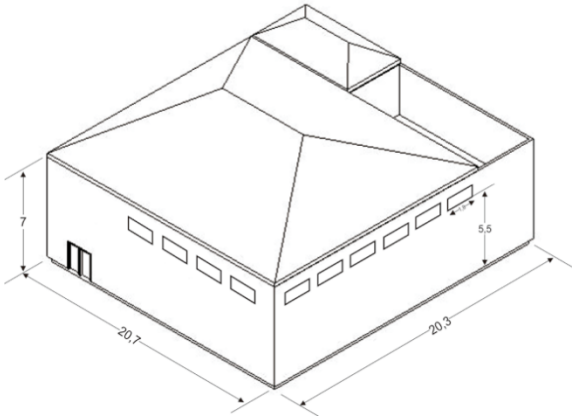
Gambar 7. Desain Usulan Stasiun Pengecapan 4



Gambar 8. Desain Usulan Stasiun Membatik

Pada penelitian ini dilakukan simulasi dengan *Autodesk Revit* yang mana dapat mengetahui hasil perubahan iklim kerja yang terdapat pada Industri XYZ. Tahap awal yang dilakukan dalam pelaksanaan simulasi adalah dengan mendesain bangunan secara keseluruhan dengan jumlah ventilasi sesuai dengan usulan yang telah diberikan. Hasil desain tersebut dapat dilihat pada gambar 9 berikut.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 9. Desain Usulan Bangunan Industri XYZ

Setelah dibuat desain usulan tersebut selanjutnya dapat dilakukan simulasi mengenai kondisi iklim kerja berupa temperatur dan kecepatan angin pada setiap stasiun kerjanya. Simulasi dilakukan dengan menggunakan fungsi *heating and cooling load analysis*. Hasil dari simulasi tersebut berbentuk sebuah *report* dari setiap stasiun kerja. Perbandingan temperatur dan kecepatan angin sebelum dan setelah dilakukan simulasi dapat dilihat pada tabel 12 dan 13 berikut.

Tabel 12. Perbandingan Temperatur Sebelum dan Sesudah Simulasi

Stasiun	Temperatur Awal (°C)	Temperatur Simulasi (°C)	Selisih (°C)
Pengecapan 1	32,66	31	1,66
Pengecapan 2	33,03	31	2,03
Pengecapan 3	33,16	31	2,16
Pengecapan 4	33,29	31	2,29
Pewarnaan	33,33	30	3,33
Penglorodan	33,72	30	3,72
Membatik	33,28	30	3,28

Tabel 13. Perbandingan Kecepatan Angin Sebelum dan Sesudah Simulasi

Stasiun	Kecepatan Angin Awal (m/s)	Kecepatan Angin Simulasi (m/s)	Selisih (m/s)
Pengecapan 1	0,0084	0,28	0,2716
Pengecapan 2	0,0561	0,156	0,0999
Pengecapan 3	0,0037	0,182	0,1783
Pengecapan 4	0,0658	0,144	0,0782
Pewarnaan	0,0685	0,252	0,1835
Penglorodan	0	0,191	0,191
Membatik	0,0511	0,292	0,2409

4. Kesimpulan dan Saran

Dari pengolahan data yang dilakukan, diketahui bahwa iklim kerja berupa temperatur dan kecepatan angin pada Industri XYZ, Surakarta belum sesuai dengan

ISBN 978-602-73461-8-5

ketentuan NAB yang berlaku. Selain itu, kondisi ISBB dengan beban kerja tertentu pada beberapa stasiun melebihi NAB yang berlaku. Dari hal tersebut diberikan usulan perbaikan dalam upaya memperbaiki kondisi iklim lingkungan kerja yang terjadi pada Industri XYZ, Surakarta.

Usulan perbaikan yang diberikan adalah berupa pemasangan ventilasi udara alami dimana minimal ventilasi yang dibutuhkan menurut Kepmenakes nomor 1405 tahun 2002 adalah 15% dari luas lantai produksi yang ada. Dari hal tersebut dapat dihitung luas ventilasi minimal masing-masing stasiun kerjanya dimana secara keseluruhan memiliki luas sebesar 53,09m^2. Dari usulan tersebut dilakukan sebuah simulasi untuk mengetahui pengaruh yang diberikan dengan menggunakan *software autodesk revit*. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, terjadi penurunan temperatur dan kenaikan kecepatan angin pada setiap stasiun kerja.

Daftar Pustaka

Indrani, C. H., 2008. Kinerja Ventilasi pada Hunian Rumah Susun Dupak Bangunrejo Surabaya, *Jurnal Dimensi Interior*, Vol. 6 No.1 pp. 9-23.

Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002, *Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri*.

Lan, L., Wagocki, P., & Lian, Z., 2011. Quantitative Measurement of Productivity Loss due to Thermal Discomfort, *Energy and Building,* Vol. 43 pp. 1057-1062.

Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. 13 Tahun 2011. *Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja*.

Purwaningsih, R. & Aisyah., 2016, Analisis Pengaruh Temperatur Lingkugan, Berat Badan, dan Tingkat Beban Kerja terhadap Denyut Nadi Pekerja Ground Handling Bandara, *Jurnal Teknik Industri*, Vol. XI No.1 pp. 15-20.

SNI 7269-2009. *Penilaian Beban Kerja Berdasarkan Tingkat Kebutuhan Kalori Menurut Pengeluaran Energi*.

SNI 16-7062-2004. *Pengukuran Intensitas Penerangan di Tempat Kerja.*

SNI 16-7063-2004. *Nilai Ambang Batas Iklim Kerja (panas), Kebisingan, Getaran Tangan-Lengan, dan Radiasi Sinar Ultra Ungu di Tempat Kerja.*

Tarwaka, Bakri, S. HA., & Sudiajeng, L., 2004, *Ergonomi untuk Keselamatan Kesehatan Kerja dan Produktivitas*, Uniba Press, Surakarta.

Vimalanathan, K. & Babu, T. R., 2013 Impact of environment Ergonomics on the Productivity of Office Workers. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, Vol.7(4) pp.366-374.

ISBN 978-602-73461-8-5

Pengaruh Beban Kerja Mental dan Fisik Terhadap Perilaku Keselamatan Kerja Karyawan Proyek Konstruksi

Hana Silvia Dwi Putri, Budi Hartono
Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika 2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281
Telp. +62-274-513665
E-mail: hanasilvia22@gmail.com

Intisari

Keselamatan kerja di bidang konstruksi bangunan di Yogyakarta tidak terpantau sementara para pekerja mendapat upah yang kecil dengan jam kerja yang panjang yang berpotensi menimbulkan beban kerja yang tinggi bagi pekerja. Kecelakaan di konstruksi disebabkan oleh perilaku keselamatan. Beban kerja mental dan beban kerja fisik diduga menjadi faktor yang mempengaruhi perilaku keselamatan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menguji hubungan antara beban kerja mental dan beban kerja fisik dengan perilaku keselamatan karyawan yang bekerja di proyek konstruksi. Penelitian dilakukan terhadap karyawan proyek kontruksi sebanyak 130 orang.. Metode pengambilan sampel dilakukan dengan metode purposive sampling. Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan Structural Equation Model (SEM) dengan Part Least Square (PLS). Hasil menunjukkan bahwa Beban kerja mental tidak berpengaruh signifikan terhadap perilaku keselamatan karyawan konstruksi (β =0,178, p-value = 0,082). Beban kerja fisik berpengaruh signifikan dan negatif terhadap perilaku keselamatan karyawan konstruksi (β =-0,273, p-value = 0,014). Semakin besar beban kerja fisik yang dimiliki karyawan maka membuat perilaku keselamatan karyawan menajdi semakin rendah. Persepsi keselamatan dapat berpengaruh signifikan dan positif terhadap perilaku keselamatan karyawan konstruksi (β =-0,003, p-value = 0,636). Semakin besar persepsi keselamatan yang dimiliki karyawan maka membuat karyawan memiliki perilaku keselamatan yang semakin besar. Umur tidak berpengaruh signifikan terhadap perilaku keselamatan karyawan konstruksi (β =-0,036, p-value = 0,678). Kondisi lingkungan tidak berpengaruh signifikan terhadap perilaku keselamatan karyawan konstruksi (β =0,145, p-value = 0,150). Umur, persepsi keselamatan dan kondisi lingkungan tidak berpengaruh signifikan terhadap beban kerja fisik. Beban kerja mental tidak memediasi hubungan antara umur dengan perilaku keselamatan karyawan konstruksi. Beban kerja mental tidak memediasi hubungan antara persepsi keselamatan dengan perilaku keselamatan karyawan konstruksi. Beban kerja mental tidak memediasi hubungan antara kondisi lingkungan dengan perilaku keselamatan karyawan konstruksi.

Kata kunci: Beban kerja mental, beban kerja fisik, konstruksi, perilaku keselamatan

1. Pendahuluan

Keselamatan dan kesehatan kerja merupakan salah satu hal yang paling utama yang harus diperhatikan dalam melakukan aktivitas pekerjaan. Program Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dalam perusahaan diperlukan sebagai upaya mencegah timbulnya kecelakaan akibat kerja dan penyakit akibat kerja dengan cara mengenali hal yang berpotensi menimbulkan kecelakaan dan penyakit akibat kerja serta tindakan antisipatif

ISBN 978-602-73461-8-5

apabila terjadi kecelakaan dan penyakit akibat kerja. Program K3 diperlukan dalam setiap perusahaan terutama perusahaan yang mempunyai risiko kecelakaan kerja yang tinggi.

Perusahaan yang mempunyai risiko kecelakaan kerja yang tinggi adalah perusahaan di bidang konstruksi bangunan. Proyek konstruksi memiliki kondisi yang berbahaya dan rawan terjadi kecelakaan kerja karena perencanaan dan eksekusi proyek berada di bawah tekanan waktu dan anggaran yang terbatas, pekerjaan yang hampir seluruhnya dilakukan oleh tenaga kerja manusia dengan banyak keahlian, sifatnya yang sementara dan berpindah-pindah, serta pekerjaan yang sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan lingkungan sekitar (Andi, 2005).

Kecelakaan kerja tidak dipengaruhi oleh faktor tunggal, tetapi dipengaruhi oleh berbagai faktor. Penyebab kecelakaan di konstruksi bangunan sebanyak 98% disebabkan karena perilaku tidak aman (*unsafe behavior*) (Choudhry, 2014) dan sebesar 88% kasus disebabkan oleh *human error* atau kesalahan manusia yang disebabkan oleh *unsafe action* (Ben-Daya *et al.*, 2009). Khosravi *et al.* (2014) melaporkan bahwa faktor yang paling penting yang mempengaruhi perilaku yang tidak aman dan kecelakaan adalah organisasi seperti kebijakan dan rencana. Menurut *Health and Safety Excecutive* (HSE) (2003), penyebab kecelakaan kerja di sektor konstruksi disebabkan oleh lima (5) kategori yaitu *originating influence*, *worker and work team*, peralatan, tempat kerja dan material. Salah satu faktor tempat kerja yaitu waktu kerja. Waktu kerja dengan istirahat tidak cukup akan menimbulkan perilaku tidak aman. Dengan demikian, faktor-faktor utama yang mempengaruhi perilaku tidak aman pada pekerja konstruksi adalah faktor organisasi salah satunya adalah waktu kerja dan tekanan waktu akibat perencanaan proyek perusahaan yang dapat menimbulkan beban kerja bagi pekerja.

Oswald *et al.* (2013) menambahkan bahwa tekanan waktu merupakan faktor yang paling mempengaruhi perilaku keselamatan kerja. Sedangkan Guo (2016) menyatakan bahwa tekanan produksi merupakan faktor yang mempengaruhi motivasi dan keselamatan kerja konstruksi bangunan. Pekerja akan lebih termotivasi dan akan lebih kompeten jika berkerja dalam lingkungan yang mendukung dan apabila tekanan produksi meningkat, motivasi dan pengetahuan keselamatan kerja akan menurun. tekanan waktu dan tekanan produksi merupakan karakteristik individu. Karakteristik individu lainnya yang dapat mempengarui keselamatan kerja adalah tekanan psikologi (Khosravi *et al.,* 2014). Dengan demikian, tekanan psikologis, tekanan waktu, dan tekanan produksi merupakan faktor yang dapat mempengaruhi perilaku keselamatan kerja.

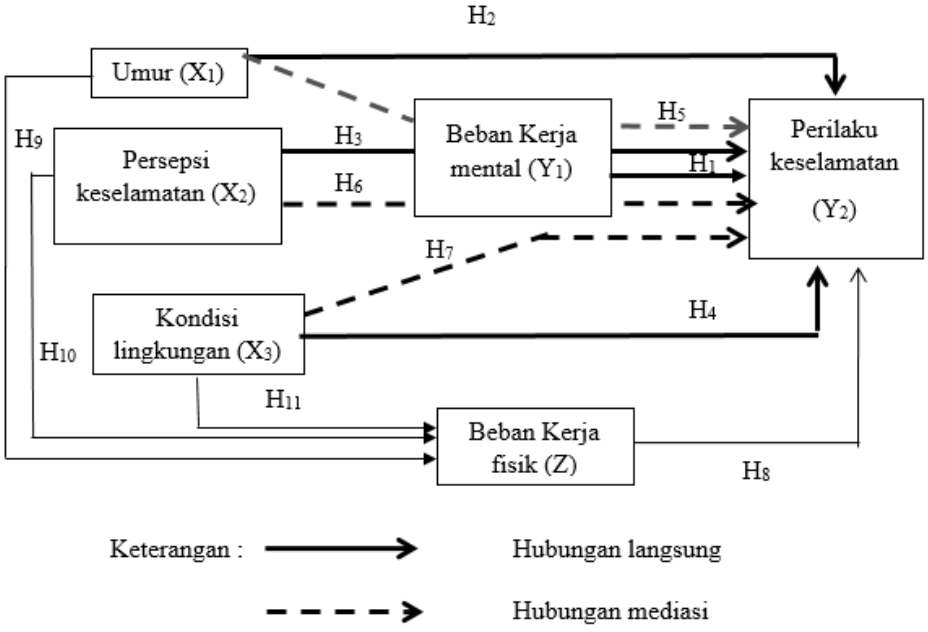
Tekanan psikologis, tekanan waktu dan tekanan produksi merupakan karakteristik individu yang merupakan indikator-indikator dari beban kerja mental sebagaimana indikator-indikator yang dilaporkan oleh Seker (2014). Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa beban kerja mental merupakan faktor yang dapat mempengaruhi perilaku keselamatan kerja. Penelitian terkait dengan pengaruh beban kerja terhadap keselamatan dan kesehatan kerja pernah dilakukan oleh Fournier *et al.* (2011). Hasil menunjukkan bahwa beban kerja yang tinggi menimbulkan kelelahan dan depresi, namun penelitian tersebut tidak mengkaji secara langsung hubungan antara beban kerja dengan keselamatan kerja. Penelitian terkait dengan pengaruh beban kerja terutama dalam bentuk beban kerja mental dan beban kerja fisik dengan perilaku keselamatan kerja belum pernah dikaji sebelumnya. Oleh karena itu, penelitian ini tertarik untuk mengkaji pengaruh beban kerja mental dan beban kerja fisik terhadap perilaku keselamatan kerja karyawan yang bekerja di proyek konstruksi.

ISBN 978-602-73461-8-5

2. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang dilakukan dengan menggunakan data kuantitatif berupa angka-angka yang diperoleh dari hasil pengisian kuesioner. Populasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah karyawan proyek konstruksi yang berada di wilayah Yogyakarta. Sampel dalam penelitian ini diambil menggunakan teknik *purposive sampling* yaitu teknik pengambilan sampel dengan pertimbangan tertentu sesuai dengan kepentingan dan tujuan penelitian. Sampel yang diambil dalam penelitian ini adalah karyawan proyek konstruksi bangunan yang telah berpengalaman selama minimal dua tahun di beberapa proyek konstruksi bangunan sebanyak 130 orang.

Penelitian ini menggunakan variabel independen berupa umur, persepsi dan kondisi lingkungan. Variabel dependen yang digunakan dalam penelitian ini adalah perilaku keselamatan. Beban kerja mental digunakan sebagai variabel mediasi dan beban kerja fisik digunakan sebagai variabel perancu. Perilaku keselamatan diukur dengan menggunakan skala pengukuran yang diadaptasi dari Al Haadir *et al.* (2013) yang terdiri dari 7 indikator. Beban kerja mental diukur dengan menggunakan skala pengukuran yang diadaptasi dari Miller (2001) yang terdiri dari 6 indikator. Beban kerja fisik diukur dengan menggunakan skala pengukuran yang diadaptasi dari Larsman dan hanse (2008) yang terdiri dari 14 indikator Kemudian Data dianalisis dengan menggunakan analisis SEM PLS. Adapun model konseptual penelitian ini dapat digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 2. Model Konseptual

3. Hasil dan Pembahasan

Responden penelitian ini adalah karyawan konstruksi di Yogyakarta sebanyak 130 karyawan dengan karakteristik yang dipaparkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Responden

Karakteristik	Frekuensi	Persentase (%)
Usia		
17-25 tahun	42	32,3

ISBN 978-602-73461-8-5

Karakteristik	Frekuensi	Persentase (%)
26-35 tahun	48	36,9
36-45 tahun	30	23,1
46-55 tahun	8	6,2
> 55 tahun	2	1,5
Pendidikan		
SD	31	23,8
SMP / sederajat	63	48,5
SMA / sederajat	35	27,0
DIPLOMA	1	0,8
Lama Kerja		
2 - 5 tahun	72	55,4
6 - 10 tahun	37	28,5
> 10 tahun	21	16,2

Sebagian besar responden berusia 26 sampai 35 tahun sebanyak 36,9% yang kemudian diikuti dengan responden berusia 17-25 tahun sebanyak 32,3%. Sebagian besar responden berpendidikan terakhir SMP/sederajat yaitu sebanyak 48,5%. Sebanyak 27% responden berpendidikan terakhir SMA / sederajat dan sebanyak 23,8% responden berpendidikan terakhir SD. Responden yang berpendidikan terakhir diploma hanya 0,8%. Sebagian besar responden telah bekerja selama 2 sampai 5 tahun yaitu sebanyak 55,4% yang kemudian diikuti oleh responden yang bekerja selama 6 sampai 10 tahun sebanyak 28,%. Responden yang bekerja lebih dari 10 tahun sebanyak 16,2% dan responden yang bekerja kurang dari atau sama dengan 1 tahun sebanyak 9,2%.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Structural Equation Modelling* (SEM) dengan pendekatan *variance* PLS (PLS-SEM) Evaluasi PLS terdiri dari *measurement model* (model pengukuran) dan *structural model* (model struktur).

3.1. Model Pengukuran

Model pengukuran penelitian ini terdiri dari konstruk formatif dan konstruk reflektif. *Measurement model* dalam penelitian ini dianalisis berdasarkan jenis konstruk/variabel yang digunakan dalam penelitian. Pada konstruk reflektif, *measurement model* dilakukan dengan beberapa kriteria meliputi *individual loading factor* dari setiap item petanyaan, *internal composite reliability* (CR), *Average Variance Extracted* (AVE) dan validitas diskriminan. Pada konstruk formatif, diasumsikan bahwa antar indikator tidak saling berkorelasi, maka ukuran internal konsistensi reliabilitas (*cronbach alpha*) tidak diperlukan untuk menguji reliabilitas konstruk formatif (Ghozali, 2016).

Hasil *measurement model* dijelaskan sebagai berikut.

1. Hasil *measurement model* konstruk reflektif

   Konstruk reflektif terdiri dari variabel persepsi keselamatan, perilaku keselamatan dan kondisi lingkungan. Mesurement model konstruk reflektif dilakukan dengan mengamati nilai *loading factor.* Model memenuhi syarat yang baik, jika nilai *loading factors* dari variabel-variabel teramati > 0,40 (Yavuz, 2014). Hasil *loading faktor* variabel reflektif pada perhitungan tahap pertama, terdapat 2 indikator yang mempunyai nilai *loading factor* < 0,4 yaitu indikator Perilaku keselamatan (PK) 3

ISBN 978-602-73461-8-5

dan PK6. Indikator PK3 dan PK6 dihapus dari model dan kemudian dikalkulasi ulang. Nilai *loading factor* hasil kalkulasi kedua keseluruhan indikatornya > 0,4 sehingga kriteria validitas indikator terpenuhi dan dapat dilakukan pengujian berikutnya.

Uji validitas diskriminan berdasarkan nilai AVE, *composite reliability* dan *cronbach alpha.* Variabel memiliki reliabilitas komposit dan *cronbach alpha* yang baik jika memiliki reliabilitas komposit yang dapat diterima dengan nilai 0,60 sampai 0,70 (Bhatnagar *et al.,* 2014). Model dinyatakan baik dengan nilai AVE > 0,50 (Ghozali, 2016). Hasil uji validitas diskriminan dipaparkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai *Composite Reliability*, *Cronbach Alpha* dan AVE

Variabel	*Composite reliability*	*Cronbach alpha*	AVE
Persepsi keselamatan (X_2)	0,700	0,404	0,456
Kondisi lingkungan (X_3)	0,785	0,618	0,555
Perilaku keselamatan (Y)	0,806	0,707	0,454

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai AVE dari variabel persepsi keselamatan kurang dari 0,50, dan *cronbach alpha* kurang dari 0,60 namun nilai *composite reliability* lebih besar dari 0,60 sehingga dapat dikatakan bahwa indikator konsisten dalam mengukur kostruknya. Nilai AVE dari variabel kondisi lingkungan lebih besar dari 0,50, *cronbach alpha* lebih besar dari 0,60 dan nilai *composite reliability* lebih besar dari 0,60 sehingga dapat dikatakan bahwa indikator konsisten dalam mengukur kostruknya. Nilai AVE dari variabel perilaku keselamatan kurang dari 0,50, namun nilai *cronbach alpha* lebih besar dari 0,60 dan nilai *composite reliability* lebih besar dari 0,60 sehingga dapat dikatakan bahwa indikator konsisten dalam mengukur kostruknya.

2. *Measurement model* konstruk formatif

   Konstruk formatif dalam penelitian ini terdiri dari variabel usia, beban kerja mental dan beban kerja fisik. Analisis *measurement model* konstruk formatif dilakukan dengan menggunakan nilai *outer weight*. Indikator dinyatakan baik jika mempunyai nilai Sig. < 0,05. Indikator yang mempunyai nilai *outer weight* dengan Sig. jauh lebih besar dari 0,05 maka dihapus dari model dan dilakukan kalkulasi ulang. Dengan demikian, indikator yang digunakan untuk perhitungan hanya indikator yang signifikan atau mendekati signifikan dengan variabel/konstruknya. Hasil *outer weight* kontruk formatif menunjukkan bahwa pada indikator Beban fisil (BF) 1, BF8, BF10, BF11, BF12, BF13, BF14, Beban mental (BM) 1, BM4, dan BM5 mempunyai *outer weight* dengan nilai Sig. jauh lebih besar dari 0,05 sehingga indikator-indikator tersebut dihapus dari model dan kemudian dikalkulasi ulang. Hasil *outer weight* pada kalkulasi kedua menunjukkan bahwa masih terdapat indikator yang mempunyai nilai *outer weight* dengan Sig. yang jauh lebih besar dari 0,05 yaitu indikator BM3. Oleh karena itu, indikator BM3 dihapus dari penelitian dan kemudian dikalkulasi ulang. Hasil *outer weight* pada kalkulasi menunjukkan bahwa seluruh indikator telah signifikan dan atau mendekati signifikan dalam hubungannya dengan konstruknya.

3.2. Evaluasi Struktural Model

Pada struktural model, kesesuaian model diuji berdasarakan nilai *R sqaure* dan hipotesis diuji melalui signifikansi dari path coefficient, T-*statistic* atau p-value (Sig.).

ISBN 978-602-73461-8-5

Kesesuaian model penelitian dilakukan dengan pengujian nilai *R-square* yang digunakan untuk menjelaskan pengaruh variabel laten eksogen tertentu terhadap variabel laten endogen. Semakin tinggi nilai R-*square*, semakin baik model dapat memprediksi objek penelitian. Jika nilai R-*square* adalah 0,75 menunjukkan model yang dibangun substansial atau kuat, jika 0,5 menunjukkan model yang dibangun moderat dan 0,25 menunjukkan model lemah (Ghozali, 2016). Hasil pengujian kesesuaian model penelitian diperoleh nilai R-*square* ditampilkan pada tabel Tabel 3.

Tabel 3 Nilai *R-square*

Variabel	R-*square*
Beban kerja fisik	0,053
Beban kerja mental	0,043
Perilaku keselamatan	0,228

Pada Tabel 3 menggambarkan bahwa hasil uji nilai *R-square* untuk keseluruhan variabel, kurang dari 0,25 sehingga keseluruhan model yang dibangun dinyatakan lemah. Hubungan antar variabel yang dibangun lemah. Artinya terdapat faktor-faktor lain yang mempengaruhi beban kerja fisik, beban kerja mental maupun perilaku keselamatan.

Hipotesis diuji berdasarkan signifikansi dengan kriteria T-*statistics* ≥ 1,96 atau P value ≤ 0,05. Hasil analisis hipotesis dengan efek mediasi dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus Sobel. Perhitungan uji sobel yaitu:

$$Sab = \sqrt{b^2xSa^2 + a^2xSb^2 + Sa^2Sb^2} \quad \text{..... (1).}$$

$$t = \frac{ab}{Sab} \quad \text{..... (2)}$$

Keterangan:
a = koefisien variabel independen
b = koefisien variabel dependen
ab = koefisien variabel mediasi (a x b)
Sa = standar error variabel independen
Sb = standar error variabel dependen

Sedangkan hasil analisis *inner model* dipaparkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis *Inner Model*

Hipotesis	Jalur	*Path coefficient*	T *statistics*	p *values*	Keterangan (Ho)
H_1	Beban kerja mental -> Perilaku keselamatan	0,178	1,745	0,082	Tidak dapat menolak
H_2	Umur -> Perilaku keselamatan	-0,036	0,416	0,678	Tidak dapat menolak
H_3	Persepsi -> Perilaku keselamatan	0,244	2,184	0,041	Menolak
H_4	Kondisi lingkungan -> Perilaku keselamatan	0,145	1,440	0,150	Tidak dapat menolak
H_5	Umur -> beban kerja mental -> Perilaku keselamatan	-0,028	-1,243	0,214	Tidak dapat menolak
H_6	Persepsi -> beban kerja	-0,003	-0,473	0,636	Tidak dapat

ISBN 978-602-73461-8-5

Hipotesis	Jalur	*Path coefficient*	T *statistics*	p *values*	Keterangan (Ho)
	mental -> Perilaku keselamatan				menolak
H_7	Kondisi lingkungan -> beban kerja mental-> Perilaku keselamatan	0,007	0,161	0,872	Tidak dapat menolak
H_8	Beban kerja fisik -> Perilaku keselamatan	-0,273	2,454	0,014	Menolak
H_9	Umur -> beban kerja fisik	-0,051	0,563	0,574	Tidak dapat menolak
H_{10}	Persepsi -> beban kerja fisik	-0,197	1,081	0,280	Tidak dapat menolak
H_{11}	Kondisi lingkungan -> beban kerja fisik	-0,073	0,588	0,557	Tidak dapat menolak

3.3. Pembahasan

Hasil pengujian Hipotesis 1 menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh signifikan antara beban kerja mental dengan perilaku keselamatan. Hasil ini tidak sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Mullen (2004) bahwa beban kerja berlebih dinyatakan sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi perilaku keselamatan kerja. Fournier *et al.* (2011) dalam penelitiannya di Negara Kanada juga menyatakan bahwa beban kerja yang tinggi menimbulkan kelelahan dan depresi yang berdampak pada rendahnya perilaku keselamatan. Depresi merupakan aspek yang berkontribusi terhadap beban kerja mental. Artinya bahwa beban kerja mental yang tinggi menimbulkan rendahnya perilaku keselamatan karyawan. Hasil penelitian ini, beban kerja mental tidak mempengaruhi perilaku keselamatan. Hal ini karena sebagian besar responden mempunyai beban kerja mental sedang. Kesuksesan untuk menyelesaikan pekerjaan proyek konstruksi tidak semata merupakan hasil pemikiran para karyawan konstruksi namun mendapat arahan dari para kontraktor yang juga mengawasi pelaksanaan pembangunan bangunan. Karyawan mempunyai stres rendah dalam menyelesaikan pekerjaan karena pada dasarnya para kontraktor telah memperhitungkan dari segi waktu dan tenaga untuk menyelesaikan pekerjaan konstruksi bangunan. Kondisi beban kerja mental tersebut tidak mempengaruhi perilaku keselamatan karyawan sehingga karyawan tetap mematuhi dan menggunakan seluruh peralatan keselamatan dalam bekerja.

Hasil pengujian Hipotesis 2 menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh signifikan antara usia dengan perilaku keselamatan. Hasil ini tidak sejalan dnegan penelitian yang dilakukan oleh Oswald *et al.* (2013) bahwa umur pekerja konstruksi di United Kingdom berpengaruh terhadap perilaku keselamatan pekerja. Siu *et al.* (2003) melakukan penelitian terhadap pekerja konstruksi di Hongkong memberikan hasil bahwa umur merupakan faktor yan mempengaruhi kinerja keselamatan. Hasil serupa dinyatakan oleh Jacky *et al.* (2015) bahwa usia pekerja diatas 60 tahun mempunyai risiko tinggi terhadap keselamatan pekerja konstruksi bangunan. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa usia tidak mempengaruhi perilaku keselamatan. Sebagian besar responden dalam penelitian ini berusia 26 sampai 35 tahun yang diikuti dengan usia 17 sampai 25 tahun. Pada karyawan dengan usia tersebut dinyatakan tidak berpengaruh signifikan terhadap perilaku keselamatan.

Hasil pengujian Hipotesis 3 menunjukkan bahwa terdapat pengaruh signifikan antara persepsi keselamatan dengan perilaku keselamatan. Koefisien jalur hubungan antara persepsi keselamatan dengan perilaku keselamatan sebesar 0,236, yang bertanda positif.

ISBN 978-602-73461-8-5

Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh signifikan dan positif antara persepsi keselamatan dengan perilaku keselamatan. Karyawan konstruksi yang mempunyai persepsi positif terkait dengan keselamatan kerja akan semakin menunjukkan perilaku keselamatan yang semakin baik. Khosravi *et al.* (2014) dalam penelitian di Negara Iran bahwa sikap dan kepercayaan keselamatan mengacu pada persepsi keselamatan yang terkait dengan perasaan internal terhadap masalah keselamatan dan diungkapkan melalui kata-kata dan perilaku. Oswald *et al.* (2013) menyatakan bahwa persepsi resiko yang rendah pada pekerja konstruksi di United Kingdom berpengaruh terhadap perilaku keselamatan. Hasil serupa dinyatakan oleh Henning *et al*. (2009) dalam penelitiannya di Negara USA bahwa perbedaan individu dalam kepribadian, sikap, dan kepercayaan seseorang dapat mempengaruhi kemampuan seorang pekerja untuk menangani bahaya di tempat kerja dengan aman. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karyawan mempunyai persepsi keselamatan yang baik sehingga memberikan perilaku keselamatan yang tinggi yang patuh dalam menggunakan seluruh peralatan keselamatan. Hasil tersebut sejalan dengan hasil penelitian Gyekye (2006) bahwa kejadian kecelakaan kerja rendah karena karyawan mempunyai persepsi keselamatan yang tinggi. Karyawan yang mempunyai persepsi keselamatan yang tinggi cenderung patuh terhadap manajemen keselamatan kerja. Kepatuhan terhadap manajemen keselamatan kerja merupakan aspek dari perilaku keselamatan. Artinya semakin tinggi persepsi keselamatan yang dimiliki karyawan maka perilaku keselamatan menjadi semakin besar. menggunakan seluruh peralatan keselamatan.

Hasil pengujian Hipotesis 4 menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh signifikan antara kondisi lingkungan dengan perilaku keselamatan. Hasil ini tidak sejalan dengan penelitian Khosravi (2014) bahwa kondisi lingkungan seperti operasi berbahaya, kondisi tidak aman, peralatan, cuaca buruk, layanan kesejahteraan, dan tahap konstruksi memiliki bukti positif hubungan positif dengan perilaku dan kecelakaan yang tidak aman pada pekerja konstruksi di Negara Iran. Sooksil dan Benjaoran (2015) melakukan penelitian terhadap pekerja konstruksi di Tailand dengan hasil bahwa kondisi lingkungan merupakan faktor yang mempengaruhi kesetimbangan perilaku keselamatan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan tidak berpengaruh signifikan terhadap perilaku keselamatan. Hal ini menujukkan bahwa kebisingan maupun cuaca ekstrim tidak mempengaruhi karyawan dalam melakukan aspek-aspek keselamatan di tempat kerja.

Hasil pengujian Hipotesis 5 menunjukkan bahwa tidak terdapat efek mediasi dari beban kerja mental terhadap hubungan antara umur dengan perilaku keselamatan. Hasil penelitian menyatakan bahwa umur karyawan tidak mempengaruhi karyawan dalam melakukan aspek-aspek keselamatan di tempat kerja dan beban kerja mental juga tidak mempengaruhi karyawan dalam melakukan aspek-aspek keselamatan di tempat kerja. Tinggi atau rendahnya beban kerja mental yang dimiliki karyawan dinyatakan tidak mempengaruhi hubungan antara umur karyawan dengan perilaku keselamatan karyawan.

Hasil pengujian Hipotesis 6 menunjukkan bahwa tidak terdapat efek mediasi dari beban kerja mental terhadap hubungan antara persepsi keselamatan dengan perilaku keselamatan. Hasil penelitian menyatakan bahwa persepsi keselamatan karyawan mempengaruhi karyawan dalam melakukan aspek-aspek keselamatan di tempat kerja, sedangkan beban kerja mental tidak mempengaruhi karyawan dalam melakukan aspek-aspek keselamatan di tempat kerja. Tinggi atau rendahnya beban kerja mental yang dimiliki karyawan dinyatakan tidak mempengaruhi hubungan antara persepsi keselamatan karyawan dengan perilaku keselamatan karyawan.

Hasil pengujian Hipotesis 7 menunjukkan bahwa tidak terdapat efek mediasi dari beban kerja mental terhadap hubungan antara kondisi lingkungan dengan perilaku

ISBN 978-602-73461-8-5

keselamatan. Hasil penelitian menyatakan bahwa kondisi lingkungan tidak mempengaruhi karyawan dalam melakukan aspek-aspek keselamatan di tempat kerja dan beban kerja mental juga tidak mempengaruhi karyawan dalam melakukan aspek-aspek keselamatan di tempat kerja. Tinggi atau rendahnya beban kerja mental yang dimiliki karyawan dinyatakan tidak mempengaruhi hubungan antara kondisi lingkungan dengan perilaku keselamatan karyawan.

Hasil pengujian Hipotesis 8 menunjukkan bahwa terdapat pengaruh signifikan antara beban kerja fisik dengan perilaku keselamatan. Nilai koefisien hubungan antara beban kerja fisik dengan perilaku keselamatan sebesar -0,254. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh signifikan dan negatif antara beban kerja fisik dengan perilaku keselamatan. Semakin besar beban kerja fisik yang diterima karyawan, membuat karyawan semakin rendah dalam bertindak dan memperhatikan segala aspek keselamatan dalam bekerja. Hal ini sebagaimana dinyatakan oleh Mullen (2004) bahwa beban kerja berlebih merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi perilaku keselamatan kerja. Hal serupa dinyatakan oleh Fournier *et al.* (2011) bahwa beban kerja yang tinggi menimbulkan kelelahan dan depresi yang berdampak pada rendahnya perilaku keselamatan. Banyen (2016) dalam penelitiannya melaporkan hasil serupa dengan penelitian ini bahwa semakin tinggi beban kerja fisik karyawan menyebabkan rendahnya perilaku keselamatan yang dimiliki karyawan konstruksi di Ghana. Hal tersebut terjadi karena sebagian besar pekerja konstruksi tidak menggunakan peralatan yang tepat dan alat untuk pekerjaan ketika karyawan merasa diberi beban kerja berlebihan dan karyawan yang sering gagal menggunakan alat dan perlengkapan yang tepat saat bekerja terjadi pada karyawan yang berada dibawah tekanan. Hasil penelitian tersebut juga menyatakan bahwa sebagian besar karyawan yang berada di bawah tekanan atau mempunyai beban kerja berlebih cenderung untuk tidak mematuhi pedoman keselamatan perusahaan.

Hasil pengujian Hipotesis 9 menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh signifikan antara umur dengan beban kerja fisik. Rodrigues *et al.* (2012) menyatakan bahwa beban kerja fisik pekerja operator spoiler dipengaruhi oleh umur dan struktur fisik operator. Jack *et al.* (2015) menyatakan bahwa pada usia yang lebih tua maka kekuatan fisik dan masa otot melemah sehingga karyawan pada usia yang tua akan lebih cenderung mempunyai beban kerja fisik yang tinggi. Pada penelitian ini, sebagian besar karyawan berusia 26 sampai 35 tahun yang diikuto dengan usia 17 sampai 25 tahun. Pada usia tersebut, karyawan masih mempunyai massa otot yang besar dan kekuatan otot yang besar.

Hasil pengujian Hipotesis 10 menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh signifikan antara persepsi keselamatan dengan beban kerja fisik. Hipotesis H_{10} tidak didukung. Neill (2011) melaporkan hasil penelitian bahwa persepsi terhadap usaha yang dilakukan merupakan ukuran dari beban kerja. Persepsi beban kerja secara subjektif mencerminkan penilaian kapasitas individu untuk memenuhi tuntutan tugas. Tingkat beban kerja yang dirasakan terjadi saat tuntutan tugas melebihi kapasitas individu untuk memenuhi tuntutan tersebut (Grech, 2009). Namun hasil penelitian ini menunjukkan bahwa persepsi keselamatan para keryawan baik positif maupun negatif, tidak mempengaruhi karyawan dalam bertindak terhadap aspek-aspek keselamatan.

Hasil pengujian Hipotesis 11 menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh signifikan antara kondisi lingkungan dengan beban kerja fisik. Hipotesis H_{11} tidak didukung. Gudipati dan Pennathur (2018) menyatakan bahwa faktor lingkungan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi beban kerja fisik karyawan. Pada penelitian ini, kondisi lingkungan tidak mempengaruhi karyawan dalam bertindak terhadap aspek-aspek keselamatan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perilaku keselamatan karyawan konstruksi dipengaruhi oleh beban kerja fisik dan persepsi keselamatan dan tidak dipengaruhi oleh

ISBN 978-602-73461-8-5

beban kerja mental. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fournier *et al.* (2011) yang menyatakan bahwa beban kerja yang tinggi menimbulkan kelelahan dan depresi sehingga berdampak pada rendahnya perilaku keselamatan kerja karyawan. Kelelahan merupakan aspek terkait dengan beban kerja fisik sedangkan depresi merupakan aspek terkait dengan beban kerja mental. Namun penelitian tersebut tidak mengkaji secara langsung pengaruh beban kerja terhadap perilaku keselamatan dan juga tidak mengkaji pengaruh secara rinci beban kerja fisik dan beban kerja mental terhadap perilaku keselamatan. Penelitian ini mampu mengkaji pengaruh langsung beban kerja terhadap perilaku keselamatan. Hasil penelitian ini juga mampu menjelaskan secara lebih rinci jenis beban kerja yang mempegaruhi perilaku keselamatan karyawan konstruksi yaitu beban kerja fisik sedangkan beban kerja mental tidak secara signifikan mempengaruhi perilaku keselamatan karyawan konstruksi. Hasil penelitian ini dapat menjadi informasi bagi para praktisi bidang konstruksi bangunan untuk meminimalisir kecelakaan kerja yaitu dengan meningkatkan perilaku kerja, dan salah satu cara meningkatkan perilaku keselamatan kerja adalah dengan memperhatikan beban kerja fisik yang diterima karyawan.

Penelitian yang dilakukan oleh Fournier *et al.* (2011) merupakan penelitian yang paling dekat dengan penelitian ini diantara berbagai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Hal ini karena Fournier *et al.* (2011) mengkaji topik yang sama dengan penelitian ini yaitu mengkaji pengaruh beban kerja terhadap perilaku keselamatan karyawan dan belum ada penelitian lainnya yang mengkaji topik tersebut.

4. Kesimpulan dan Saran

Beban kerja mental tidak berpengaruh signifikan terhadap perilaku keselamatan karyawan konstruksi. Beban kerja fisik berpengaruh signifikan dan negatif terhadap perilaku keselamatan karyawan konstruksi. Semakin besar beban kerja fisik yang dimiliki karyawan maka membuat perilaku keselamatan karyawan menjadi semakin rendah. Hal tersebut terjadi karena sebagian besar karyawan yang berada di bawah tekanan atau mempunyai beban kerja berlebih cenderung untuk tidak mematuhi pedoman keselamatan perusahaan.

Persepsi keselamatan dapat berpengaruh signifikan dan positif terhadap perilaku keselamatan karyawan konstruksi. Semakin besar persepsi keselamatan yang dimiliki karyawan maka membuat karyawan memiliki perilaku keselamatan yang semakin besar. Umur dan kondisi lingkungan tidak berpengaruh signifikan terhadap perilaku keselamatan karyawan konstruksi. Umur, persepsi keselamatan dan kondisi lingkungan tidak berpengaruh signifikan terhadap perilaku keselamatan karyawan konstruksi. Beban kerja mental tidak memediasi hubungan antara umur dengan perilaku keselamatan karyawan konstruksi. Beban kerja mental tidak memediasi hubungan antara persepsi keselamatan dengan perilaku keselamatan karyawan konstruksi. Beban kerja mental tidak memediasi hubungan antara kondisi lingkungan dengan perilaku keselamatan karyawan konstruksi.

Daftar Pustaka

Andi. (2005). Studi Mengenai Faktor-FaktorPenyebab Rework pada Proyek-Proyek di Surabaya. *Skripsi*. Universitas Kri sten Petra, Indonesia.

Ben-Daya, M., Duffuaa, S.O., Raouf, A., Knezevic**,** J., Ait-Kadi. (2009). Handbook of Maintenance Management and Engineering. Springer-Verlag, London.

Choudhry, R.M. (2014). Behavior-based safety on construction sites: a case study. Accid Anal Prev. Vol. 70, pp. 14-23.

Edorisiagbon, J., 2015, Thesis : *Occupational Safety Management Framework for*

ISBN 978-602-73461-8-5

Healthcare and Social Assistance Service Providers, Health Business Management, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences.

Fournier, P.S., Montreuil, S., Brun, J.P., Bilodeau, C., Villa, J. (2011). Exploratory Study to Identify Workload Factors that Have an Impact on Health and Safety A Case Study in the Service Sector, Studies and Research Projects. *IRSST – Communications Division 505 De Maisonneuve Blvd. West Montréal*, Québec.

Ghozali, I., 2016, Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 23, BPFE Universitas Diponegoro, Semarang.

Grech MR1., Neal A., Yeo G., Smith S., dan Humphreys M., 2009, An examination of the relationship between workload and fatigue within and across consecutive days of work: is the relationship static or dynamic. J Occup Health Psychol. Vol 14, pp. 231-42.

Gudipati S. Dan Pennathur, A., 2018, Physical and Mental Workload Assessment Techniques for Job Design. Diakses di http://www.semac.org.mx/archivos/6-9.pdf

Guo, B. (2016). Change The Safety Climate. University Of Auckland December 2015/January 2016 — Build 151 Seth Ayim Gyekye. 2005. Workers' Perceptions Of Workplace Safety And Job Satisfaction. *International Journal Of Occupational Safety And Ergonomics (Jose)*. Vol. 11, No. 3, pp. 291–302.

Haadir, S., Panuwatwanich, K., and Stewart, R., 2013, *Developing a Model of Construction Safety in Saudi Arabia*, Griffith School of Engineering, Griffith University, Gold Coast campus, Australia.

Health and Safety Executive (HSE) (2003). European Comparisons: Statistics of Workplace Fatalities and Injuries across the European Union. <http://www.hse.gov.uk/statistics/european/index.htm>, diakses tanggal 10 Mei 2017.

Henning, J.B., Stufft, C.J., Payne, S.C., Bergman, M.E., Mannan, M.S., Keren N. (2009). The influence of individual differences on organizational safety attitudes. *Safety Science.* Vol. 47, pp. 337–345.

Jacky Y.K., Alam, Chan H.S., 2015, The Ageing Construction Workforce in Hong Kong: A Review, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2015, Vol II, IMECS 2015, March 18 - 20, 2015, Hong Kong.

Khosravi, Y., Asilian-Mahabadi, H., Hajizadeh, E. (2014). Factors Influencing Unsafe Behaviors and Accidents on Construction Sites: A Review. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* (*JOSE*). Vol. 20, No. 1, pp. 111–125.

Khosravi, Y., Asilian-Mahabadi, H., Hajizadeh, E., Hassanzadeh-Rangi, N., dan Behzadan A.H. (2014). Structural modeling of safety performance in construction industry. *Iranian Journal of Public Health. V*ol. 43, No. 8, pp. 1099-1106.

Miller, S., 2001, *National Advanced Driving Simulator*, University of Iowa.

Mullen, J.E. (2004). Factors influencing safety behavior at work. *Journal of Safety Research/* Vol. 35, pp. 275-285.

Neill, D. (2011). Nursing Workload And The Changing Health Care Environment: a Review Of The Literature. *Administrative issue Journal.* Vol. 1, No. 2, pp. 132-143.

Oswald, D., Sherratt F., and Smith, S. (2013). Exploring Factors Affecting Unsafe Behaviours In Construction, Dalam Smith, S.D and Ahiaga-Dagbui, D.D (Eds) *Procs 29thAnnual ARCOM Conference.* 2-4 September 2013. Reading, UK, Association of Researchers in Construction Management, 335-344.

Rodrigues, V.A.J., Braga, C.S., Campos, J.C.C., dan Silva, E.P., 2012, Assessment of physical workload in boiler operations, Work, Vol. 41, pp. 406-413.

Seker, A. (2014). Using Outputs Of Nasa-Tlx For Building a Mental Workload Expert System, *Gazi University Journal Of Sciencegu j Sci.* Vol. 27, No. 4, pp. 1131-1142.

ISBN 978-602-73461-8-5

Siu Ol, Phillips D.R., Leung T.W. (2004). Safety climate and safety performance among construction workers in Hong Kong: the role of psychological strains as mediators. *Accid Anal Prev*. Vol. 36, No. 3, pp. 359–66.

Sooksil, N., and Benjaoran, V., 2015, Dalam Raidén, A.B., and Aboagye-Nimo, E. (Eds) Procs 31st Annual ARCOM Conference, 7-9 September 2015, Lincoln, UK, Association of Researchers in Construction Management, pp. 539-548.

ISBN 978-602-73461-8-5

PERBAIKAN TEMPERATUR DI RUANG PRODUKSI BATIK PRINTING
(Studi Kasus : PT. Batik Marak Manis)

Iga Kusuma Wardhani, Bambang Suhardi, Rahmaniyah Dwi Astuti
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta, 57126, Indonesia
E-mail: Iggakw@gmail.com

Intisari

Sistem ventilasi yang baik diperlukan pada ruangan kerja untuk meningkatkan kenyamanan dalam bekerja terutama untuk ruangan-ruangan produksi yang menggunakan mesin-mesin yang mengeluarkan panas. Komponen sistem ventilasi yang dibahas dalam peneltian ini adalah turbin ventilator. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kondisi termal akibat paparan panas dalam ruangan produksi batik printing dan melakukan engineering control dengan merancang sistem ventilasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran langsung kondisi termal. Hasil pengukuran termal menunjukkan bahwa temperatur udara rata-rata di ruang produksi batik printing adalah 34,13 ^oC. Temperatur rata-rata telah berada di luar batas standar atas yang direkomendasikan oleh Kepmenakes RI No. 1405/Menkes/SK/XI/2002 yaitu 18^oC - 30^oC. Engineering control dilakukan dengan penggunaan turbin ventilator untuk meningkatkan kenyamanan termal pekerja. Jumlah turbin ventilator yang efektif adalah sebanyak 9 buah untuk Tipe L-75 dengan biaya pemasangan sebesar Rp 13.500.000,00 dengan bahan alumunium dan Rp 17.100.000,00 dengan bahan stainless steel. Hasil perhitungan kelayakan investasi layak dilakukan. Pemasangan turbin ventilator dapat menurunkan temperatur hingga 2 ^oC.

Kata Kunci: Engineering control, Temperatur, Turbin ventilator

1. Pendahuluan

Kerja merupakan sesuatu yang dibutuhkan oleh manusia untuk bertahan hidup. Kerja sesungguhnya bagian penting dari kehidupan manusia, sebab aspek kehidupan yang memberikan status kepada masyarakat. Aktivitas kerja dilakukan dalam lingkungan kerja dan sangat bergantung terhadap kondisi lingkungan kerja tersebut. Menurut Nuraini (2013) lingkungan kerja adalah segala sesuatu yang ada disekitar karyawan dan dapat mempengaruhi dalam menjalankan tugas yang dibebankan kepadanya. Menurut Lewa, K., Iip, Idham, Eka dan Subowo (2005) lingkungan kerja yang baik apabila karyawan dapat melaksanakan kegiatan secara optimal, sehat, aman, nyaman.

Menurut Litwin, George H. dan Stringer, Jr (1968) iklim kerja adalah segala sesuatu yang terdapat pada lingkungan kerja, yang dirasakan secara langsung maupun tidak langsung oleh orang-orang yang ada dan bekerja pada lingkungan tersebut dan diasumsikan dapat mempengaruhi motivasi dan tingkah laku. Iklim kerja merupakan keadaan lingkungan kerja yang di ukur dari perpaduan antara suhu udara (suhu basah dan suhu kering), kelembaban udara, kecepatan aliran udara, dan suhu radiasi. Menurut Ramdan (2007) kombinasi dari keempat faktor ini dihubungkan dengan produksi panas oleh tubuh yang disebut tekanan panas. Iklim kerja merupakan salah satu faktor fisik yang berpotensi untuk menimbulkan gangguan kesehatan bagi pekerja bila berada pada

ISBN 978-602-73461-8-5

kondisi yang ekstrim. Kondisi temperatur lingkungan kerja yang ekstrim meliputi panas dan dingin yang berada di luar batas kemampuan manusia untuk beradaptasi.

PT. Batik Merak Manis merupakan industri yang memproduksi batik. Produk batik yang dihasilkan oleh perusahaan Batik Merak Manis meliputi batik tulis, batik cap, dan batik printing. Berdasarkan data pada bulan April 2018 produksi Batik Merak Manis sebanyak 24 kain batik tulis, 2400 kain batik cap, dan 3000 kain batik printing. Data tersebut menujukkan bahwa batik printing merupakan produk yang paling dominan di Batik Merak Manis. Kendala yang terjadi pihak perusahaan sering menolak pesanan batik printing karena terkait dengan masalah ketersediaan pekerja. Kurangnya ketersediaan jumlah pekerja setiap harinya dikarena pekerja sering izin tidak masuk kerja dengan alasan kesehatan. Berdasarkan hasil wawancara dengan pekerja tersebut, mereka merasa ruang produksi batik printing tidak nyaman dikarenakan temperatur ruangan yang panas dan hasil pengukuran temperatur memperkuat alasan para pekerja mengenai lingkungan kerja yang tidak nyaman.

Berdasarkan hasil pengukuran temperatur pada industri Batik Merak Manis di ruang produksi batik printing diketahui bahwa pekerja terpapar panas hingga mencapai temperatur 35,9^{o}C. Temperatur di ruang produksi batik printing berada di atas nilai ambang batas yang telah ditetapkan oleh Kepmenakes RI No. 1405/Menkes/SK/XI/2002 yang menetapkan batas temperatur untuk ruang kerja industry optimal berkisar pada rentang suhu 18°C - 30°C. Nilai temperatur sangat tinggi karena di dalam ruang produksi terdapat mesin-mesin yang mengahasilkan panas. Selain itu aliran udara yang masuk pada ruang produksi tersebut sangat sedikit dan cenderung kurang. Kondisi ini terjadi karena ruangan tersebut mempunyai pintu yang cukup besar namun tidak langsung berhubungan dengan udara bebas. Dimana lingkungan di sekitar industri adalah pemukiman padat yang terdapat batas tembok di kanan, kiri, dan belakang industri yang dapat menghambat laju aliran udara yang masuk ke dalam ruangan tersebut. Hal diperparah dengan kondisi ruangan yang beratapkan seng dan kurangnya jumlah ventilasi sehingga terkena paparan panas yang tinggi karena seng merupakan media penghantar panas dan ventilasi merupakan jalan masuknya udara.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan perbaikian kondisi lingkungan fisik untuk mengurangi temperatur pada ruang produksi batik printing industri Batik Merak Manis dengan menggunakan turbin ventilator.

2. Metode

Data yang diambil pada penelitian ini berdasarkan data kondisi termal dalam ruangan. Subjek penelitian adalah keseluruhan karyawan batik printing. Data kondisi termal diambil menggunakan alat ukur Environment Meter. Environment Meter digunakan untuk mengukur data temperatur udara. Data kondisi termal diamati berdasarkan standar nilai ambang batas yang telah ditetapkan oleh Kepmenakes RI No. 1405/Menkes/SK/XI/2002.

Pembahasan yang dilakukan adalah dengan membandingkan kondisi termal aktual dalam ruangan dengan standar yang diijinkan. Engineering control penanganan paparan panas dikaji dengan melihat manfaat penggunaan alat, jumlah optimal dan posisi penempatannya dalam menciptakan kenyamanan termal dalam ruangan. Adapun tahapan yang dilakukan adalah Yuliyanti (2016):

1. Menentukan volume ruang dengan rumus :
   $V_{ruangan}$ = Panjang x Lebar x Tinggi ruang ……..... (1)
2. Setelah itu tentukan volume atap dengan rumus :
   $V_{atap} = \frac{\text{panjang x lebar}}{2}$ x tinggi atap ……..……..….. (2)
3. Menghitung volume total dengan rumus:

ISBN 978-602-73461-8-5

$V_{total} = V_{ruangan} + V_{atap}$ ..... (3)

4. Menghitung jumlah turbin ventilator yang dibutuhkan :

$$\text{Jumlah turbin ventilator} = \frac{\text{Volume total}}{\text{kapasitas hisap x waktu sirkulasi}} \quad \text{..... (4)}$$

5. Biaya turbin ventilator = jumlah turbin ventilator x harga turbin ventilator..... (5)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengukuran Temperatur di Ruang Produksi Batik Printing

Berdasarkan SNI-16-7061-2004 pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali selama 8 jam kerja, yaitu pada awal shift yang dilakukan pada pukul 09.00 WIB, tengah shift pada pukul 12.00 WIB, dan di akhir shift pada pukul 15.00 WIB. Letak titik pengukuran ditentukan pada lokasi tempat tenaga kerja melakukan pekerjaan. Pengukuran di ruang produksi batik printing dilakukan pada 18 titik. Dimana alat ukur diletakkan pada ketinggian sesuai dengan standar yang ditetapkan ASHRAE 55 (1992) yaitu pada ketinggian 0,1 m, 1,1 m, dan 1,7 m dari dasar lantai. Hasil pengukuran temperature di ruang produksi batik printing ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Data Perhitungan Temperatur di Ruang Produksi Batik Printing

	Pengukuran	Lokasi Pengukuran	Waktu									Rata-Rata Persetasiun	Rata-rata Total
			9:00			12:00			15:00				
			0.1	1.1	1.7	0.1	1.1	1.7	0.1	1.1	1.7		
Hari Ke-1	Temperatur (°C)	T1	32.2	32.4	32.8	35	35.1	35.4	34.5	34.9	35	34.14	34.13
		T2	32.1	32.9	32.8	35.3	35.6	35.7	34.8	35	35.2	34.38	
		T3	32.2	32.7	32.9	35	35.1	35.5	34.5	34.9	35	34.20	
		T4	32.5	32.8	33	34.5	34.9	35	34	34	34.5	33.91	
		T5	32.1	32.3	32.6	34.5	34.8	35.1	34.1	34.5	34.6	33.84	
		T6	32.1	32.4	32.6	34.7	34.9	35	34.2	34.7	34.7	33.92	
		T7	32	32	32.5	34.5	34.6	34.9	34.5	34.7	34.9	33.84	
		T8	32.2	32.1	32.4	35.4	35.8	35.9	34.3	34.5	34.9	34.17	
		T9	32	32.3	32.4	35.6	35.9	35.9	34.3	34.6	34.9	34.21	
		T10	32	32.2	32.2	35.4	35.7	35.8	34.4	34.7	34.8	34.13	
		T11	33.8	34.1	34.3	35.6	35.8	35.9	34.8	35.1	35.3	34.97	
		T12	32.1	32.5	32.7	34.5	34.6	34.8	34	34.2	34.6	33.78	
		T13	32.1	32.4	32.8	34.6	34.7	34.8	34	34.3	34.5	33.80	
		T14	32.5	33.9	34	35.3	35.6	35.8	34.9	35.1	35.3	34.71	
		T15	32	32.1	32.4	35.2	35.4	35.6	34.4	34.6	34.9	34.07	
		T16	32.2	32.3	32.5	35.1	35.4	35.6	34.4	34.7	34.9	34.12	
		T17	33.7	33.8	33.8	34.7	34.8	34.9	34.3	34.5	34.7	34.36	
		T18	32.6	32.7	32.9	34.4	34.5	34.9	34	34	34.6	33.84	
	Rata-rata per ketinggian		32.36	32.66	32.87	34.96	35.18	35.36	34.36	34.61	34.85		
	Rata-rata per jam		32.63			35.17			34.61				

	Pengukuran	Lokasi Pengukuran	Waktu									Rata-Rata Persetasiun	Rata-rata Total
			9:00			12:00			15:00				
			0.1	1.1	1.7	0.1	1.1	1.7	0.1	1.1	1.7		
Hari Ke-2	Temperatur (°C)	T1	32	32.4	32.8	35	35.1	35.4	34.5	34.9	35.1	34.13	34.08
		T2	32	32.4	32.8	35.3	35.6	35.7	34.8	35	35	34.29	
		T3	32.1	32.5	32.9	35	35.1	35.5	34.5	34.9	35	34.17	
		T4	32.2	32.5	33	34.5	34.9	35	34	34	34.4	33.83	
		T5	32.1	32.3	32.6	34.5	34.8	35.1	34.1	34.5	34.6	33.84	
		T6	32.1	32.4	32.6	34.7	34.9	35	34.2	34.7	34.7	33.92	
		T7	32	32.4	32.5	34.5	34.6	34.7	34.5	34.7	34.8	33.86	
		T8	32.2	32.6	32.4	35	35.3	35.7	34.3	34.5	34.9	34.10	
		T9	32	32.4	32.4	35.1	35.4	35.6	34.3	34.6	34.7	34.06	
		T10	32	32.2	32.2	35.4	35.7	35.9	34.4	34.7	34.7	34.13	
		T11	32.9	34.1	34.3	35.1	35.3	35.8	34.8	35.1	35.2	34.73	
		T12	32.1	32.5	32.7	34.5	34.6	34.6	34	34.2	34.5	33.74	
		T13	32.1	32.4	32.8	34.6	34.7	34.7	34	34.3	34.4	33.78	
		T14	32	33.5	34	35.3	35.6	35.7	34.9	35.1	35.3	34.60	
		T15	32	32.1	32.4	35.2	35.4	35.7	34.4	34.6	34.9	34.08	
		T16	32.2	32.8	32.5	35.1	35.4	35.5	34.4	34.7	34.9	34.17	
		T17	33.1	33.8	33.8	34.7	34.5	34.7	34.3	34.5	34.7	34.23	
		T18	32.6	32.7	32.9	34.4	34.5	34.7	34	34	34.6	33.82	
	Rata-rata per ketinggian		32.21	32.67	32.87	34.88	35.08	35.28	34.36	34.61	34.80		
	Rata-rata per jam		32.58			35.08			34.59				

ISBN 978-602-73461-8-5

	Pengukuran	Lokasi Pengukuran	Waktu									Rata-Rata Persetasiun	Rata-rata Total
			9:00			12:00			15:00				
			0.1	1.1	1.7	0.1	1.1	1.7	0.1	1.1	1.7		
Hari Ke-3	Temperatur (°C)	T1	32.2	32.6	33	35.2	35.3	35.6	34.7	35.1	35.3	34.33	34.18
		T2	32.1	32.5	32.9	35.4	35.7	35.8	34.9	35.1	35.1	34.39	
		T3	32.2	32.5	32.9	35	35.1	35.5	34.5	34.9	35	34.18	
		T4	32.3	32.5	33	34.5	34.9	35	34	34	34.4	33.84	
		T5	32.2	32.3	32.6	34.5	34.8	35.1	34.1	34.5	34.6	33.86	
		T6	32.2	32.4	32.6	34.7	34.9	35	34.2	34.7	34.7	33.93	
		T7	32.3	32.7	32.8	34.8	34.9	35	34.8	35	35.1	34.16	
		T8	32.5	32.7	32.5	35.1	35.4	35.8	34.4	34.6	35	34.22	
		T9	32.3	32.5	32.5	35.2	35.5	35.7	34.4	34.7	34.8	34.18	
		T10	32.3	32.3	32.3	35.5	35.8	36	34.5	34.8	34.8	34.26	
		T11	33.2	34.1	34.3	35.1	35.3	35.8	34.8	35.1	35.2	34.77	
		T12	32.4	32.5	32.7	34.5	34.6	34.6	34	34.2	34.5	33.78	
		T13	32.1	32.6	33	34.8	34.9	34.9	34.2	34.5	34.6	33.96	
		T14	32	33.7	34.2	35.5	35.8	35.9	35.1	35.3	35.5	34.78	
		T15	32	32.3	32.6	35.4	35.6	35.9	34.6	34.8	35.1	34.26	
		T16	32.2	32.9	32.6	35.2	35.5	35.6	34.5	34.8	35	34.26	
		T17	33.1	33.8	33.8	34.7	34.5	34.7	34.3	34.5	34.7	34.23	
		T18	32.6	32.7	32.9	34.4	34.5	34.7	34	34	34.6	33.82	
	Rata-rata per ketinggian		32.34	32.76	32.96	34.97	35.17	35.37	34.44	34.70	34.89		
	Rata-rata per jam		32.69			35.17			34.68				

Tabel 2. Data Rata-Rata Temperatur di Ruang Produksi Batik Printing

Pengukuran	Lokasi Pengukuran	Waktu			Rata-rata
		9:00	12:00	15:00	
Suhu (°C)	T1	32,49	35,23	34,89	34,20
	T2	32,54	35,69	35,29	34,51
	T3	32,63	34,84	34,61	34,03
	T4	32,70	34,54	34,12	33,79
	T5	32,34	34,66	34,40	33,80
	T6	32,38	34,49	34,51	33,79
	T7	32,36	34,27	34,59	33,74
	T8	32,24	34,39	34,29	33,64
	T9	32,29	34,30	34,47	33,69
	T10	32,19	34,14	34,53	33,62
	T11	33,90	35,52	34,99	34,80
	T12	32,47	34,59	34,27	33,77
	T13	33,14	35,08	34,62	34,28
	T14	33,31	35,61	35,03	34,65
	T15	32,21	35,49	34,66	34,12
	T16	32,47	35,38	34,66	34,17
	T17	32,99	34,49	34,41	33,96
	T18	32,73	34,56	34,24	33,84
Rata-rata Total		34,02			

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa temperature rata-rata di ruang produksi batik printing pada hari ke-1 mencapai 34,13^{o}C, hari ke-2 mencapai 34,08^{o}C, dan hari ke-3 mencapai 34,18^{o}C. Pada pengukuran temperatur di ruang produksi batik printing diperoleh nilai temperatur terbesar yaitu sebesar 35,9ºC. Sedangkan nilai temperatur terkecil yaitu sebesar 32ºC. Berdasarkan tabel 2 semua data hasil pengukuran temperatur di ruang produksi batik printing berada di atas nilai ambang batas yang telah ditetapkan oleh Kepmenakes RI No. 1405/Menkes/SK/XI/2002 yang menetapkan batas temperatur untuk ruang kerja industri optimal berkisar pada rentang suhu 18°C - 30°C. Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat bahwa secara umum semakin siang waktu pengukuran dan semakin tinggi titik pengukuran maka semakin tinggi nilai temperatur, namun ketika waktu pengukuran menuju sore hari, maka temperatur mulai menurun.

ISBN 978-602-73461-8-5

3.2 Kebutuhan Turbin Ventilator

Turbin ventilator memiliki ukuran yang beragam yaitu diameter 45 cm, 60 cm, 75 cm, 90 cm, dan 105 cm. Daya hisap turbin ventilator berbeda-beda tergantung dengan ukuran diameter turbin ventilator. Berikut adalah spesifikasi turbin ventilator yang ad di pasaran:

Tabel 3. Spesifikasi Turbin Ventilator

Tipe Turbin	Diameter luar	Dimensi (cm)	Berat		Kapasitas Hisap (m^3 /menit)
			Alumunium (kg)	Stainless Stell (kg)	
L-45	45 cm / 18 inch	75 x 68 x 68	4.5	8.5	43.39
L-60	60 cm / 24 inch	100 x 86 x 86	8.5	13.5	75.36
L-75	75 cm / 30 inch	120 x 100 x 100	13.5	19.5	117.75
L-90	90 cm / 36 inch	140 x 130 x 130	19.5	27	169.56
L-105	105 cm / 42 inch	148 x 134 x 134	21	30	222

Jika turbin ventilator yang digunakan saat ini adalah L-45 dengan kapasitas 42,39 m^3/menit dan waktu sirkulasi 10 menit, maka jumlah yang direkomendasikan adalah:

a Menentukan volume ruang dengan rumus

$V_{ruangan}$

$V_{ruangan\ 1}$ $= 37.8 \times 11.8 \times 5$

$= 2230.2\ m^3$

$V_{ruangan\ 2}$ $= 35 \times 24.6 \times 5$

$= 4305\ m^3$

$V_{ruangan\ 3}$ $= 35.8 \times 15.8 \times 5$

$= 2828.2\ m^3$

b Setelah itu tentukan volume atap dengan rumus

V_{atap}

$V_{atap\ 1} = \frac{37.8 \times 11.8}{2} \times 2$

$= 446.04\ m^3$

$V_{atap\ 2} = \frac{35 \times 24.6}{2} \times 2$

$= 861\ m^3$

$V_{atap\ 3} = \frac{35.8 \times 15.8}{2} \times 2$

$= 565{,}64\ m^3$

c Menghitung volume total dengan rumus

V_{total}

$V_{total\ 1} = 2230{,}2\ m^3 + 446{,}04\ m^3$

$= 2676{,}24\ m^3$

$V_{total\ 2} = 4305\ m^3 + 861\ m^3$

$= 5166\ m^3$

$V_{total\ 3} = 2828{,}2\ m^3 + 565{,}64\ m^3$

$= 3393{,}84\ m^3$

ISBN 978-602-73461-8-5

d Menghitung jumlah turbin ventilator yang dibutuhkan

Jumlah turbin ventilator

Jumlah turbin ventilator ruangan 1 $= \frac{2676{,}24\ \text{m3}}{42{,}39\ \text{m3 /menit x 10 menit}}$

$= 6{,}313 \sim 6$ buah

Jumlah turbin ventilator ruangan 2 $= \frac{5166\ \text{m3}}{42{,}39\ \text{m3 /menit x 10 menit}}$

$= 12{,}187 \sim 12$ buah

Jumlah turbin ventilator ruangan 3 $= \frac{3393{,}84\ \text{m3}}{42{,}39\ \text{m3 /menit x 10 menit}}$

$= 8{,}006 \sim 8$ buah

Tabel 4. Jumlah Turbin Ventilator yang Dibutuhkan

Jenis Turbin Ventilator	**Jumlah Turbin Ventilator yang dibutuhkan**			**Total Jumlah turbin ventilator**
	Ruang I	Ruang II	Ruang III	
L-45	6	12	8	26
L-60	4	7	5	16
L-75	2	4	3	9
L-90	2	3	2	7
L-105	1	2	2	5

3.3 Biaya Pemasangan Turbin Ventilator

Turbin ventilator memiliki harga yang beragam tergantung dengan ukuran diameter dan bahan yang digunakan. Biaya pemasangan turbin ventilator dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Biaya Pemasangan Turbin Ventilator

Ukuran Turbin Ventilator	Jumlah Turbin Ventilator	Harga Turbin Ventilator		Biaya Turbin Ventilator	
		Bahan Alumunium	Bahan Stainless Steel	Bahan Alumunium	Bahan Stainless Steel
L-45	26	Rp 800,000.00	Rp 1,000,000.00	Rp 20,800,000.00	Rp 26,000,000.00
L-60	16	Rp 950,000.00	Rp 1,200,000.00	Rp 15,200,000.00	Rp 19,200,000.00
L-75	9	Rp 1,500,000.00	Rp 1,900,000.00	Rp 13,500,000.00	Rp 17,100,000.00
L-90	7	Rp 2,200,000.00	Rp 2,750,000.00	Rp 15,400,000.00	Rp 19,250,000.00
L-105	5	Rp 3,000,000.00	Rp 3,600,000.00	Rp 15,000,000.00	Rp 18,000,000.00

Berdasarkan tabel 5, biaya pemasangan turbin ventilator termurah adalah jenis L-75 sebesar Rp 13.500.000,00 dengan bahan alumunium dan Rp 17.100.000,00 dengan bahan *stainless steel.* Pemasangan turbin termahal adalah jenis L-45 sebesar Rp 20.800.000,00 dengan bahan alumunium dan Rp 26.000.000,00 dengan bahan *stainless steel.*

Berdasarkan biaya pemasangan turbin ventilator termurah maka dilakukan perhitungan NVP untuk menghitung kelayakan investasi pemasangan turbin ventilator L-75 bahan alumunium dan *stenless stell*. Berikut merupakan perhitungan NPV dan PBP pada turbin ventilator L-75 dengan bahan alumunium dan *steanless stell*.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 6. Perhitungan NVP dan PBP Turbin Ventilator L-75 Alumunium

		Sebelum		Sesudah	
Variabel cost	Biaya Bahan Baku	Rp	1,560,000.00	Rp	2,600,000.00
	Biaya Tenaga Kerja	Rp	640,000.00	Rp	640,000.00
	Biaya Listrik	Rp	45,000.00	Rp	90,000.00
	Biaya screen	Rp	40,000.00	Rp	40,000.00
	Pewarna	Rp	100,000.00	Rp	250,000.00
Revenue	Penjualan perhari	Rp	2,760,000.00	Rp	4,600,000.00
Income	Keuntungan Bersih	Rp	375,000.00	Rp	980,000.00
Initial Invesment	Investasi vasilitas			Rp	13,500,000
Net Present Value	NPV			Rp	893,553,109
	Payback period				30
	Kelayakan investasi				Layak

Tabel 7. Perhitungan NVP dan PBP Turbin Ventilator L-75 *Stenless Stell*

		Sebelum		Sesudah	
Variabel cost	Biaya Bahan Baku	Rp	1,560,000.00	Rp	2,600,000.00
	Biaya Tenaga Kerja	Rp	640,000.00	Rp	640,000.00
	Biaya Listrik	Rp	45,000.00	Rp	90,000.00
	Biaya screen	Rp	40,000.00	Rp	40,000.00
	Pewarna	Rp	100,000.00	Rp	250,000.00
Revenue	Penjualan perhari	Rp	2,760,000.00	Rp	4,600,000.00
Income	Keuntungan Bersih	Rp	375,000.00	Rp	980,000.00
Initial Invesment	Investasi vasilitas			Rp	17,100,000
Net Present Value	NPV			Rp	864,207,705
	Payback period				55
	Kelayakan investasi				Layak

Hasil perhitungan diperoleh nilai NPV turbin ventilator L-75 bahan alumunium sebesar Rp 893.553.109 dimana NPV tersebut bernilai positif, sehingga perbaikan fasilitas yang dilakukan memberikan manfaat bagi industry Batik Merak Manis dan layak dilakukan. Hasil dari *Payback Periode* dari pemasangan turbin ventilator L-75 bahan alumunium adalah 30 hari atau 1 bulan 4 hari dimana dalam 1 bulan 26 hari kerja. Sedangkan hasil perhitungan NPV turbin ventilator L-75 bahan *stenless stell* sebesar Rp 864.207.705 dimana NPV tersebut bernilai positif, sehingga perbaikan fasilitas yang dilakukan memberikan manfaat bagi industry Batik Merak Manis. Hasil dari *Payback Periode* pemasangan turbin ventilator L-75 bahan *steanless stell* adalah 55 hari atau 2 bulan 3 hari dimana dalam 1 bulan 26 hari kerja.

Kapasitas hisap turbin ventilator L-75 sebesar 117,75 m^3/menit yang bearti setiap satu menit turbin ventilator dapat menghisap udara dengan volume 117,75 m^3. Waktu ideal yang dibutuhkan untuk sirkulasi suatu ruangan adalah 10 menit sehingga dalam waktu sirkulasi 10 menit turbin ventilator dapat menghisap udara dengan volume 1177,5 m^3 dimana pemasangan turbin ventilator dapat menurunkan suhu hingga 2^oC. Pada ruang produksi batik printing I industry Batik Merak Manis memiliki volume sebesar 2676,24 m^3 dan dibutuhkan turbin ventilator jenis L-75 sebanyak 2 buah dengan waktu sirkulasi 10 menit, sehingga 1 turbin ventilator L-75 mampu menyerap udara dengan volume 1338,12 m^3 dan dapat menurunkan temperatur hingga 1,76 ^oC. Sedangkan pada ruang produksi batik printing II industry Batik Merak Manis memiliki volume sebesar 5166 m^3 dan dibutuhkan turbin ventilator jenis L-75 sebanyak 4 buah dengan waktu sirkulasi 10 menit, sehingga 1 turbin ventilator L-75 mampu menyerap udara dengan volume 1291,5 m^3 dan dapat menurunkan temperatur hingga 1,82 ^oC. Ruang produksi batik printing III

ISBN 978-602-73461-8-5

industriBatik Merak Manis memiliki volume sebesar 3393,83 m^3 dan dibutuhkan turbin ventilator jenis L-75 sebanyak 3 buah dengan waktu sirkulasi 10 menit, sehingga 1 turbin ventilator L-75 mampu menyerap udara dengan volume 1131,28 m^3 dan dapat menurunkan tempertur hingga 2,08 ^oC.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dari pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa, temperatur rata-rata pada ruang produksi batik printing berada di luar batas standar yang direkomendasikan oleh Kepmenakes RI No. 1405/Menkes/SK/XI/2002 yaitu 18^oC - 30^oC. Kondisi ketidaknyamanan tersebut diatasi dengan pemasangan turbin ventilator. Pemasangan turbin ventilator yang direkomendasikan adalah 9 buah untuk Tipe L-75 dengan posisi penempatan di tengah ruangan yang terpasang secara seri. Biaya pemasangan turbin jenis L-75 sebesar Rp 13.500.000,00 dengan bahan alumunium dan Rp 17.100.000,00 dengan bahan *stainless steel.* Hasil perhitungan kelayakan investasi didapatkan nilai NPV bernilai positif yang berarti investasi tersebut layak dilakukan. Pemasangan turbin ventilator L-75 pada ruang produksi batik printing I industry Batik Merak Manis dapat menurunkan temperatur hingga 1,76 ^oC, ruang II dapat menurunkan temperatur 1,82 ^oC, dan ruang III dapat menurunkan temperatur 2,08^oC.

Daftar Pustaka

ASHRAE. (1992). Thermal Environmental Condition for Human Occupancy (ASHRAE Standard 55-56). ASHRAE: Atlanta US.

Kepmenakes RI No. 1405/Menkes/SK/XI/2002. (2002). Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri. Menteri Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta.

Lewa, K., Iip, Idham, Eka dan Subowo, (2005), "Pengaruh Kepemimpinan, Lingkungan Kerja Fisik dan Kompensasi Terhadap Kinerja Karyawan di PT. Pertamina (Persero) Daerah Operasi Hulu Jawa Bagian Barat Cirebon." Jurnal SINERGI:Kajian Bisnis dan Manajemen Edisi Khusus on Human Resources.

Litwin, George H. & Stringer, Jr. (1968). Motivation and Organizational Climate. Boston: Division of Research Graduate School of Business Administration Harvard University.

Nuraini, T. (2013). Manajemen Sumber Daya Manusia.Yayasan Aini Syam, Pekanbaru.

Ramdan, I.M. 2007. Dampak Giliran Kerja, Suhu dan Kebisingan Terhadap Perasaan Kelelahan Kerja di PT. LJP Provinsi Kalimantan Timur, Universitas Mulawarman, Kalimantan. Dari: http//210.57.222.46/index.php/IJPH/article/ view/451.

SNI 16-7061-2004. (2004). Pengukuran Iklim Kerja (Panas) dengan Parameter Indeks Suhu Basah dan Bola, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.

Yuliyanti (2016). Perancangan Lingkungan Fisik Dengan Pendekatan Green Building. Jurnal Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Malang Vol. 17, No. 2, Agustus 2016, pp. 72-83. ISSN 1978-1431 print / ISSN 2527-4112 online.

ISBN 978-602-73461-8-5

Analisis Kecepatan Reaksi Petugas Pengendali Kereta Api di Stasiun Besar Kelas A dan B Daerah Operasi II Bandung

Lauditta Irianti, Bayu Setia Indrawan, Arie Desrianty
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Bandung,
Jl P.K.H Mustofa No 23, Bandung, 40124
Telp. (022) 7272215
E-mail: lauditta.irianti@gmail.com

Petugas Pengendali Kereta Api (PPKA) merupakan salah satu yang memegang peranan penting dalam keselamatan dan kelancaran perjalanan kereta api. Stasiun kereta api di Indonesia terbagi menjadi beberapa klasifikasi, dimana salah satunya adalah Stasiun Besar A dan B. Beban kerja PPKA pada setiap stasiun tidak sama. Berdasarkan penelitian sebelumnya, beban kerja terbukti dapat mempengaruhi tingkat kelelahan yang berdampak pada kecepatan reaksi. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis mengenai kecepatan reaksi PPKA Stasiun Besar A dan B. Partisipan adalah seluruh PPKA yang bertugas di Stasiun Besar A dan B Daerah Operasi II Bandung. Alat ukur yang digunakan adalah Software reaction Times V4.03. Partisipan akan diberikan dua jenis perlakuan, stimulus visual (T5) dan audio visual (T6). Pengolahan data dilakukan dengan Uji ANOVA mixed subject dan uji t berpasangan. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan kecepatan reaksi yang signifikan antara Stasiun A dan B. Data menunjukkan bahwa kecepatan reaksi PPKA Stasiun B lebih cepat 4%-11% dibandingkan Stasiun A. Hasil pengujian pun menunjukkan tidak adanya perbedaan kecepatan reaksi yang signifikan akibat interaksi antara jenis stasiun dan jenis perlakuan. Namun, hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan signifikan yang antara stimulus visual dan audio visual. Data menunjukkan bahwa kecepatan reaksi dengan perlakuan T6 lebih cepat 13%-21% dibandingkan T5. Hasil uji statistik lainnya menunjukkan bahwa tidak adanya perbedaan yang signifikan antara hasil pengukuran sebelum bekerja dan setelah bekerja. Penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun kondisi dan beban pekerjaan PPKA antar stasiun berbeda, namun hal tersebut belum tentu secara langsung mempengaruhi kecepatan reaksi dari setiap petugas PPKA.
Kata Kunci: Kecepatan reaksi, Pengendali, Kereta Api, Railway controller

1. Pendahuluan

Kereta api merupakan salah satu transportasi darat yang banyak digunakan oleh masyarakat. Hal ini disebabkan karena keunggulan yang dimiliki moda transportasi tersebut, yaitu adanya jalur sendiri, biaya yang relatif terjangkau dan waktu tempuh yang relatif lebih cepat. Statistik menunjukkan bahwa pengguna moda kereta api di wilayah Jawa sejak tahun 2013 hingga 2017 mengalami kenaikan sekitar 14% per tahun (Kementrian Perhubungan, 2018). Keamanan dan keselamatan tinggi merupakan salah satu prioritas utama demi kelancaran perjalanan. Menurut hasil statistik, kecelakaan kereta api lima tahun terakhir telah menurun sekitar 4% per tahun (Kementrian Perhubungan, 2018). Meskipun begitu, keamanan dan keselamatan perjalanan merupakan hal yang harus selalu diperhatikan untuk menjadi salah satu prioritas utama.

ISBN 978-602-73461-8-5

Kelancaran perjalanan kereta api tidak selalu tergantung pada masinis, selaku petugas yang mengendalikan kereta. Salah satu divisi yang memegang peran penting pada kelancaran perjalanan adalah Petugas Pengendali Kereta Api (PPKA). PPKA bertugas untuk mengatur setiap kereta yang masuk dan keluar dari stasiun serta melaporkan hal tersebut kepada Pusat Kendali (PK). Selain itu, PPKA bertugas untuk mengawasi lintasan yang akan dilalui kereta hingga mengatur jika ada perubahan jadwal perjalanan kereta api. Setiap PPKA dituntut untuk selalu konsentrasi, sigap, waspada dan teliti dalam mengambil setiap keputusan pada pekerjaannya dimana keputusan dibuat berdasarkan input *visual* atau bahkan bersamaan antara input *visual* maupun *audio*. Pekerjaan PPKA melibatkan proses pengontrolan, persepsi terhadap sinyal yang masuk dan pengambilan keputusan yang merupakan bagian dari beban kerja mental (Perry 2008 dalam Basahel, 2012; Jung & Jung, 2001). Beban kerja mental menggambarkan sejauh mana dan seberapa besar kemampuan kognitif dan perhatian manusia manusia diperlukan untuk melaksanakan pekerjaan yang dilakukan (Charlton dan O'Brien, 2002 dalam Basahel, 2012). PPKA bekerja dengan sistem shift kerja yang terdiri dari tiga shift, yaitu shift pagi (pukul 06.00-14.00), siang (pukul 14.00-22.00) dan malam (22.00-06.00). Shift siang merupakan waktu lalu lintas kereta terpadat jika dibandingkan dengan shift lainnya. Lalu lintas shift malam dapat dikatakan terendah namun jam kerja yang dialami oleh petugas merupakan jam kerja krusial, dimana menurut irama sirkadian bahwa pukul 21.00 merupakan waktu keluarnya hormon melatonin yang mengakibatkan manusia merasakan kantuk.

Banyaknya pekerjaan dan tanggung jawab PPKA di setiap stasiun tidak selalu sama, hal tersebut bergantung kepada tipe stasiun. PT Kereta Api Indonesia (KAI) memiliki sembilan Daerah Operasi (DAOP) di Indonesia. Terdapat beberapa klasifikasi stasiun pada setiap DAOP yang terdiri dari stasiun besar (stasiun kelas A,B dan C), stasiun sedang (stasiun kelas 1 dan 2) dan stasiun kecil (stasiun kelas 3). Menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. PM 33 Tahun 2011, perbedaan setiap stasiun bergantung dari beberapa faktor seperti fasilitas operasi, fasilitas penunjang, jumlah jalur, frekuensi lalu lintas, jumlah barang dan jumlah penumpang. Stasiun besar memiliki frekuensi lalu lintas terpadat dari stasiun kelas lainnya. DAOP II Bandung merupakan salah satu daerah operasi yang berada di Jawa Barat dimana terdapat tiga stasiun besar yaitu Stasiun bandung (Stasiun Besar A), Stasiun Kiaracondong (Stasiun Besar B) dan Stasiun Rancaekek (Stasiun Besar C). Berdasarkan ketiga stasiun besar tersebut, Stasiun Bandung dan Kiaracondong memiliki karateristik yang hampir sama di meja pelayanan PPKA, yaitu berbasis elektrik-semi elektrik, sedangkan Stasiun Rancaekek berbasis mekanik. Meskipun kedua stasiun besar memiliki karateristik yang hampir sama, beban kerja yang diterima oleh PPKA pada Stasiun Bandung dan Kiaracondong belum tentu sama karena diakibatkan oleh faktor lain seperti kepadatan lalu lintas, keberadaan SDM yang membantu pekerjaan petugas PPKA, lokasi ruangan PPKA berada ataupun kemampuan kerja dari masing-masing PPKA.

Beban kerja merupakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan tingkat kelelahan dimana pada akhirnya akan berdampak pada performansi manusia (Fan dan Smith, 2017). Suma'mur (1996 dalam Indrawan, et al., 2014) mendeskripsikan bahwa beban kerja merupakan salah satu faktor yang mengakibatkan terjadinya kelelahan. Kelelahan adalah perasaan berupa letih, lesu dan menurunnya kewaspadaan yang mengakibatkan adanya keinginian untuk beristirahat (Ummul dan Kameshwara, 2012 ; Williamson, et al., 2009). Kuswana (2014) mendeskripsikan bahwa kelelahan adalah perasaan subjektif yang memiliki sifat bertahap dan dapat diatasi dengan periode istirahat. Kelelahan berdampak kepada kecepatan reaksi dimana saat individu mengalami kelelahan maka kecepatan reaksi yang dihasilkan akan semakin lambat (Welford, 1968 dalam Konsinski, 2012).

ISBN 978-602-73461-8-5

Kecepatan reaksi adalah kecepatan manusia dalam merespon stimulus, dimana pengujian dapat dilakukan dengan uji *Psychomotor Vigilance Task* (PVT). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh beban kerja PPKA dari stasiun yang berbeda (Stasiun Besar A dan B) terhadap kelelahan yang dilihat dari kecepatan reaksi PPKA. Hipotesis pada penelitian ini yaitu adanya perbedaan kecepatan reaksi yang signifikan antara PPKA di Stasiun Besar A dan Stasiun Besar B.

2. Metodologi

2.1. Partisipan

Partisipan merupakan seluruh petugas PPKA dari Stasiun Besar A (Stasiun Bandung) dan Stasiun Besar B (Stasiun Kiaracondong). Seluruh partisipan berjenis kelamin pria dimana seluruh petugas PPKA dari masing-masing stasiun berjumlah empat orang. Seluruh partisipan tidak memiliki sejarah penyakit baik fisik maupun psikis. Data demografi partisipan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut

Tabel 1. Data Demografi Partisipan

Partisipan	St. Besar A	St. Besar B
Umur (tahun)	35.3 ± 12.1	31.3± 5.3
Masa kerja (tahun)	9.8 ± 7.4	6,5 ± 1,9

2.2. Perbandingan Fasilitas dan Kondisi Kerja PPKA Stasiun Bandung dan Stasiun Kiaracondong

Perbandingan fasilitas pada kedua stasiun dapat dilihat pada Tabel 2 berikut

Tabel 2. Perbandingan Fasilitas dan Kondisi Kerja PPKA Kedua Stasiun

Fasilitas/Kegiatan	St. Besar A	St. Besar B
Meja Pelayanan	NX semi-elektrik	Elektrik berbasis komputer
Jumlah Jalur	13 Jalur	7 Jalur
Jumlah Wesel	64 Wesel	33 Wesel
Pembantu PAP	Ada	Tidak Ada (Merangkap sebagai PAP)
Ruangan PPKA	Terpisah dari stasiun (Lantai 2)	Didalam stasiun (Lantai 1)
Jam Kerja/Shift	8 Jam	8 Jam

Jika dilihat pada Tabel 2, kondisi kerja serta banyaknya jalur yang dikontrol oleh PPKA Stasiun Besar A lebih banyak jika dibandingkan PPKA Stasiun Besar B. Namun begitu, pada Stasiun Besar B dilengkapi meja pelayanan yang lebih modern yaitu elektrik berbasis komputer yang dapat lebih memudahkan kerja dari petugas PPKA. Selain itu, petugas PPKA pada Stasiun Besar A dibantu oleh PAP (pengawas peron) yang bertugas dalam pengaturan perjalanan di peron serta menjalankan administrasi perjalanan, berbeda dengan Stasiun Besar B dimana PPKA merangkap sebagai PAP. Dapat dikatakan bahwa petugas PPKA pada Stasiun Besar B memiliki dua tanggung jawab.

2.3. Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur kecepatan reaksi adalah *software Reaction Times* V4.03. Pengukuran dilakukan pada sebuah laptop Asus X550D dengan ukuran layar 15,6 inch. Pengukuran dilakukan selama 10 menit dengan interval 2-10 detik (Loh, 2004) dimana total stimulus yang diberikan berjumlah 30 stimulus.

ISBN 978-602-73461-8-5

2.4. Prosedur Penelitian

Pengukuran dilakukan dengan dua perlakuan, yaitu pengukuran dengan stimulus *visual* (disebut T5) dan stimulus *audio visual* (disebut T6). Pada masing-masing perlakuan seluruh partisipan akan diukur saat shift siang dan shift malam, dimana pada masing-masing shift akan diukur selama empat kali. Setiap satu pengukuran akan dilakukan dua kali, yaitu saat 10 menit sebelum bekerja dan tepat setelah bekerja. Pengukuran di saat tengah bekerja tidak dapat dilakukan karena hal tersebut dapat mengganggu aktivitas bekerja PPKA.

Pengukuran T5 dilakukan dengan menampilkan stimulus berupa persegi warna putih berukuran 3x6 persen dari layar berwarna hijau. Pengukuran T6 dilakukan dengan menampilan *visual* yang berbeda, yaitu lingkaran kecil berwarna biru berdiameter 3 persen dari layar berwarna putih, dimana disertai dengan bunyi 'ding'. Stimulus *visual* diatur agar muncul pada lokasi yang berbeda-beda. Partisipan diharapkan untuk merespon dengan cara menekan tombol spasi jika stimulus muncul. Parameter kecepatan reaksi yang digunakan pada penelitian ini adalah *mean* 1/RT (Basner et al., 2011 ; Basner dan Dinges, 2011; Loh et al., 2004).

2.5. Uji Statistik

Uji statistik yang digunakan adalah uji anova *mixed subject* dan uji t berpasangan. Anova *mixed subject* digunakan karena tipe data terdiri dari *between* serta *within subject*. Uji t berpasangan digunakan untuk menguji adanya perbedaan antara setelah pengukuran dan sebelum pengukuran. Nilai keberartian yang digunakan adalah 5%.

3. Hasil dan Pembahasan

Masing-masing partisipan akan dilakukan pengukuran sejumlah 16 kali, dimana empat kali pengukuran saat shift siang sebelum bekerja kondisi perlakuan T5, empat kali pengukuran shift siang setelah bekerja kondisi perlakukan T5, empat kali pengukuran saat shift siang sebelum bekerja kondisi perlakuan T6, empat kali pengukuran shift siang setelah bekerja kondisi perlakukan T5. Hasil dari setiap pengukuran akan dirata-ratakan sehingga setiap partisipan akan menghasilkan satu nilai *mean* 1/RT untuk masing-masing kondisi. Setelah itu, hasil akan dirata-ratakan kembali sehingga setiap perlakuaan pada shift dan waktu tertentu akan menghasilkan satu nilai *mean* 1/RT. Data hasil pengukuran kecepatan reaksi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Pengukuran Kecepatan Reaksi

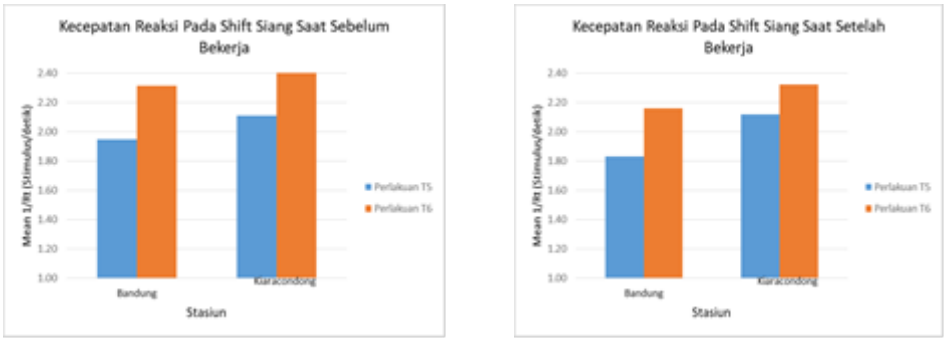
Stasiun	Perlakuan	Shift	Waktu pengukuran	*Mean* 1/RT (Stimulus/detik)			
				Rata-rata	St.dev	Max	Min
Bandung	T5	Siang	SB	1.95	0.36	2.47	1.64
			SS	1.83	0.22	2.10	1.60
		Malam	SB	1.90	0.19	2.09	1.69
			SS	1.76	0.22	2.03	1.54
	T6	Siang	SB	2.32	0.36	2.77	1.90
			SS	2.16	0.36	2.68	1.90
		Malam	SB	2.32	0.35	2.68	1.88
			SS	2.18	0.27	2.52	1.89
Kiaracondong	T5	Siang	SB	2.11	0.17	2.30	1.92

ISBN 978-602-73461-8-5

Stasiun	Perlakuan	Shift	Waktu pengukuran	*Mean* 1/RT (Stimulus/detik)			
				Rata-rata	St.dev	Max	Min
	T6	Malam	SS	2.12	0.36	2.57	1.71
			SB	2.14	0.27	2.53	1.90
		Siang	SS	1.91	0.13	2.10	1.81
			SB	2.43	0.28	2.72	2.10
		Malam	SS	2.33	0.32	2.81	2.11
			SB	2.36	0.22	2.67	2.15
			SS	2.21	0.16	2.44	2.05

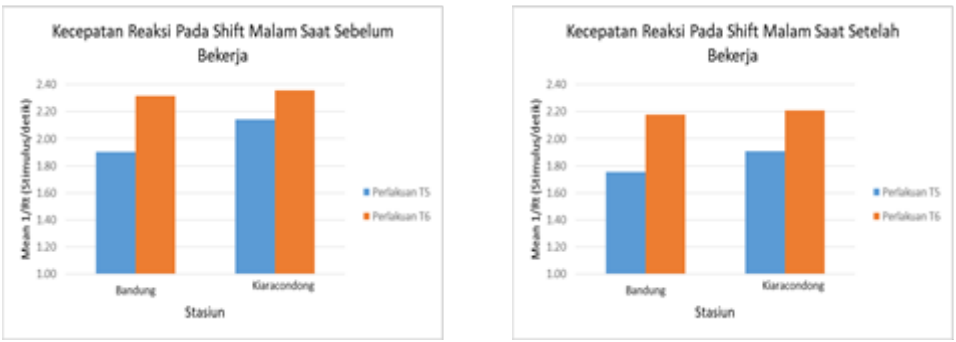
SB = Sebelum Bekerja ; SS = Setelah Bekerja

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai *mean* 1/RT pada Stasiun Kiaracondong memiliki nilai lebih besar jika dibandingkan dengan Stasiun Bandung. Semakin besar nilai *mean* 1/RT menunjukkan bahwa waktu partisipan dalam merespon stimulus lebih cepat. Waktu respon yang lebih cepat menunjukkan bahwa partisipan merasakan tingkat kelelahan yang lebih rendah. Gambar 1 dan 2 berikut menggambarkan mengenai pola hasil pengukuran pada setiap *shift* kerja.



(a) (b)

Gambar 1. Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran Pada *Shift* Siang



(a) (b)

Seluruh hasil pengukuran telah memenuhi syarat uji normalitas. Terdapat tiga pengujian statistik yang dilakukan. Pengujian pertama adalah ANOVA *mixed subject* yang dilakukan pada setiap shift (siang dan malam) saat sebelum dan setelah bekerja untuk melihat adanya perbedaan kecepatan reaksi antar stasiun, antar kondisi perlakuan

ISBN 978-602-73461-8-5

ataupun berdasarkan interaksi keduanya. Pada pengujian ini, data *between subject* (jenis stasiun A dan B) disimbolkan dengan hurup"A" sedangkan data *within subject* (jenis perlakuan T5 dan T6) disimbolkan dengan huruf "B" Simbol "BxA" menunjukkan interaksi faktor jenis stasiun dan jenis perlakuan. Hasil Uji statistik ANOVA *mixed subject* dapat dilihat pada Tabel 4. Hipotesis pada uji ANOVA pertama adalah sebagai berikut :

H_{01} : Tidak terjadi perbedaan rata-rata kecepatan reaksi PPKA yang signifikan antara stasiun besar A dan stasiun besar B pada shift (siang/malam) saat (sebelum/setelah) bekerja

H_{11} : Terjadi perbedaan rata-rata kecepatan reaksi PPKA yang signifikan antara stasiun besar A dan stasiun besar B pada shift (siang/malam) saat (sebelum/setelah) bekerja

H_{02} : Tidak terjadi perbedaan rata-rata kecepatan reaksi PPKA yang signifikan antara perlakuan T5 dan T6 pada shift (siang/malam) saat (sebelum/setelah) bekerja

H_{12} :Terjadi perbedaan rata-rata kecepatan reaksi PPKA yang signifikan antara perlakuan T5 dan T6 pada shift (siang/malam) saat (sebelum/setelah) bekerja

H_{03} : Tidak terjadi perbedaan rata-rata kecepatan reaksi PPKA yang signifikan berdasarkan interaksi antara jenis stasiun dan jenis perlakuan pada shift (siang/malam) saat (sebelum/setelah) bekerja

H_{13} : Terjadi perbedaan rata-rata kecepatan reaksi PPKA yang signifikan berdasarkan interaksi antara jenis stasiun dan jenis perlakuan pada shift (siang/malam) saat (sebelum/setelah) bekerja

Hasil uji statistik pada Tabel 4 menunjukkan bahwa baik pada shift siang maupun malam serta pada kondisi sebelum dan setelah bekerja, tidak adanya perbedaan kecepatan reaksi yang signifikan antara PPKA di Stasiun Besar A dan Stasiun Besar B . Namun begitu, uji statistik menunjukkan bahwa adanya perbedaan kecepatan reaksi yang signifikan antara perlakuan *visual* (T5) dan *audio visual* (T6). Hasil uji ANOVA pun menunjukkan bahwa tidak adanya perbedaan kecepatan reaksi yang signifikan yang diakibatkan oleh interaksi antara jenis stasiun dan jenis perlakuan.

Tabel 4. Hasil Uji Statistik ANOVA *Mixed Subject* Pada Setiap Kondisi

Shift Kerja	Waktu pengukuran	Simbol	*P value*	Hasil	Kesimpulan
Siang	**SB**	A	0.511	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_{01}
		B	0.004	$P < 0.05$	Menolak H_{02}
		BxA	0.765	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_{03}
	SS	A	0.341	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_{01}
		B	0.006	$P < 0.05$	Menolak H_{02}
		BxA	0.369	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_{03}
Malam	**SB**	A	0.459	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_{01}
		B	0.002	$P < 0.05$	Menolak H_{02}
		BxA	0.146	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_{03}
	SS	A	0.541	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_{01}
		B	0.000	$P < 0.05$	Menolak H_{02}
		BxA	0.031	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_{03}

Pengujian statistik kedua adalah ANOVA *mixed subject* dimana nilai pengukuran berupa selisih antara nilai pengukuran setelah bekerja terhadap sebelum bekerja. Data

ISBN 978-602-73461-8-5

between dan *within* sama dengan pengujian pertama. Hasil pengujian ANOVA kedua dapat dilihat pada Tabel 5. Hipotesis uji ANOVA kedua adalah sebagai berikut :

H_{01} : Tidak terjadi perbedaan selisih kecepatan reaksi PPKA antara setelah bekerja terhadap sebelum bekerja yang signifikan antara stasiun besar A dan stasiun besar B pada shift (siang/malam)

H_{11} : Terjadi perbedaan selisih kecepatan reaksi PPKA antara setelah bekerja terhadap sebelum bekerja yang signifikan antara stasiun besar A dan stasiun besar B pada shift (siang/malam)

H_{02} : Tidak terjadi perbedaan selisih kecepatan reaksi PPKA antara setelah bekerja terhadap sebelum bekerja yang signifikan antara perlakuan T5 dan T6 pada shift (siang/malam)

H_{12} : Terjadi perbedaan selisih kecepatan reaksi PPKA antara setelah bekerja terhadap sebelum bekerja yang signifikan antara perlakuan T5 dan T6 pada shift (siang/malam)

H_{03} : Tidak terjadi perbedaan selisih kecepatan reaksi PPKA antara setelah bekerja terhadap sebelum bekerja yang signifikan berdasarkan interaksi antara jenis stasiun dan jenis perlakuan pada shift (siang/malam)

H_{13} : Terjadi perbedaan selisih kecepatan reaksi PPKA antara setelah bekerja terhadap sebelum bekerja yang signifikan berdasarkan interaksi antara jenis stasiun dan jenis perlakuan pada shift (siang/malam)

Tabel 5. Hasil Uji Statistik ANOVA *Mixed Subject* dengan Nilai Pengukuran Selisih Setelah Bekerja Terhadap Sebelum Bekerja

Shift Kerja	Simbol	Hasil	Kesimpulan
Siang	A	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_{01}
	B	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_{02}
	BxA	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_{03}
Malam	A	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_{01}
	B	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_{02}
	BxA	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_{03}

Tabel 5 menunjukkan bahwa tidak adanya perbedaan selisih kecepatan reaksi yang signifikan antara setelah bekerja terhadap sebelum bekerja pada Stasiun A dan B. Uji statistik pun menunjukkan tidak adanya perbedaan selisih kecepatan reaksi yang signifikan pada kedua jenis perlakuan (T5 dan T6) ataupun akibat interaksi antara jenis stasiun dan jenis perlakuan. Hal ini secara tidak langsung menunjukkan bahwa nilai pengukuran antara setelah bekerja dan sebelum bekerja dapat dikatakan tidak terlalu jauh berbeda.

Uji Statistik ketiga yang dilakukan adalah uji t berpasangan untuk menguji apakah terdapat perbedaan nilai pengukuran antara sebelum bekerja dan setelah bekerja. Hasil uji t berpasangan dapat dilihat pada Tabel 6. Hipotesis pada uji t berpasangan adalah sebagai berikut

H_0 : Terdapat perbedaan kecepatan reaksi PPKA antara setelah bekerja terhadap sebelum bekerja yang signifikan

H_1 : Tidak terdapat perbedaan kecepatan reaksi PPKA antara setelah bekerja terhadap sebelum bekerja yang signifikan

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 6. Uji t Berpasangan

Stasiun	Kondisi perlakuan	Shift Kerja	Hasil	Kesimpulan
Bandung	**T5**	Siang	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_0
		Malam	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_0
	T6	Siang	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_0
		Malam	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_0
Kiaracondong	**T5**	Siang	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_0
		Malam	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_0
	T6	Siang	$P > 0.05$	Tidak dapat menolak H_0
		Malam	$P < 0.05$	Menolak H_0

Tabel 6 menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan hasil pengukuran antara sebelum dan setelah bekerja pada masing-masing stasiun, kondisi perlakuan dan shift kerja kecuali pada saat pengukuran dengan kondisi perlakuan T6 saat shift malam di Stasiun Kiaracondong. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh kerja terhadap waktu reaksi PPKA tidak terlalu besar. Pada saat pengukuran T6 shift malam di Stasiun B, terjadi hal di luar kegiatan normal, yaitu terjadinya gangguan wesel yang mengakibatkan kesibukan yang lebih tinggi dibandingkan biasanya. Hal ini dapat mengakibatkan adanya penurunan kecepatan reaksi yg signifikan sehingga mempengaruhi hasil perhitungan uji statistika.

Jika dilihat pada Tabel 1, kecepatan reaksi pada PPKA Stasiun Besar B lebih cepat daripada PPKA Stasiun Besar A. Hal ini ditunjukkan dari nilai *mean* 1/RT yang dihasilkan, baik pada perlakuan T5 dan T6 maupun saat sebelum dan setelah bekerja. Rata-rata keseluruhan kecepaatan reaksi PPKA Stasiun Besar A pada perlakuan T5 adalah 1,86 stimulus/detik sedangkan pada perlakuan T6 adalah 2,24 stimulus/detik. Rata-rata keseluruhan kecepatan reaksi PPKA Stasiun Besar B pada perlakuan T5 adalah 2,07 stimulus /detik, sedangkan pada kondisi T6 adalah 2,33 stimulus/detik. Jika dilihat secara keseluruhan, bahwa kecepatan reaksi PPKA Stasiun Besar B, baik pada shift siang ataupun malam, lebih cepat sekitar 4% hingga 11% jika dibandingkan Stasiun Besar A.

Hasil kecepatan reaksi saat shift malam lebih lambat dibandingkan saat shift siang. Petugas PPKA Stasiun Besar A menghasilkan kecepatan reaksi saat shift siang sekitar 1% lebih cepat dibandingkan saat shift malam, sedangkan pada PPKA Stasiun Besar B menghasilkan kecepatan reaksi sekitar 4% lebih cepat dibandingkan shift malam. Harma et al. (2002) dan Ingre et al . (2004) dalam Jay et al. (2008) mendeskripsikan bahwa tingkat kelelahan tertinggi terjadi salah satunya saat shift malam. Saat shift malam manusia akan mengalami kurang tidur yang akan berdampak kepada penurunan performansi yang membutuhkan perhatian dan menganggu kecepatan reaksi (Yogi dan Hirkani, 2016 ; Tucker et al., 2010). Hasil pada penelitian ini menunjukkan hal yang mendukung hasil penelitian sebelumnya. Meskipun terdapat perbedaan nilai yang dihasilkan, namun perbedaan tersebut dirasa tidak terlalu besar.

Basner dan Dinges (2011) mendeskripsikan bahwa kecepatan reaksi yang dihasilkan dengan nilai $100 < RT < 500$ ms dapat disebut sebagai *alert responses*, yaitu kondisi dimana individu mengalami kewaspadaan yang baik dalam merespon stimulus. Kewaspadaan merupakan salah satu indikator jika manusia mengalami kelelahan, dimana kelelahan dapat menurunkan kewaspadaan (Ummul dan Kameswara, 2012). Jika nilai tersebut dikonversikan ke dalam 1/RT, maka nilai minimal 1/RT yang menunjukkan bahwa individu dikatakan dalam kondisi *alert responses* adalah $2{,}000 < 1/RT < 10$ stimulus/detik. Hasil pengukuran pada penelitian ini menunjukkan bahwa sebagian besar (sekitar 69%) nilai dari seluruh pengukuran menghasilkan nilai di atas 2,000

ISBN 978-602-73461-8-5

stimulus/detik. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar PPKA pada penelitian ini tidak menunjukkan indikasi kelelahan yang tinggi. Jika dilihat dari Tabel 1, Sekitar 88% petugas PPKA Stasiun Besar B menghasilkan nilai *mean* 1/RT diatas 2,000 stimulus/detik, sedangkan sebanyak 50% hasil pengukuran pada Stasiun Besar A yang menghasilkan nilai *mean* 1//RT diatas 2,000 stimulus/detik. Pengukuran yang menghasilkan nilai dibawah 2,000 stimulus/detik pada PPKA Stasiun Besar A terjadi pada saat pengukuran dengan kondisi perlakuan T5.

Jika dilihat kembali secara keseluruhan, pengukuran dengan perlakuan T5 menunjukkan hasil yang lebih rendah jika dibandingkan T6. Hasil pengukuran T6 lebih besar sekitar 13% hingga 21% dibandingkan pengukuran T5. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat petugas PPKA diberikan stimulus *visual* yang disertai dengan *audio*, hal tersebut meningkatkan kewaspadaan petugas terhadap stimulus sehingga dapat merespon lebih cepat. Hal ini pun didukung dengan hasil pengujian ANOVA yang menunjukkan adanya perbedaan kecepatan reaksi yang signifikan yang diakibatkan oleh perlakukan (T5 dan T6) pada seluruh pengukuran. Jain et al. (2015) mendeskripsikan bahwa stimulus *audio* menghasilkan respons manusia yang lebih cepat dibandingkan dengan stimulus *visual.* Hasil pada penelitian ini tidak berbeda terhadap penelitian sebelumnya.

Kecepatan reaksi PPKA Stasiun Besar A lebih lambat dapat disebabkan oleh beberapa hal. Lalu lintas di Stasiun Besar A lebih padat dibandingkan Stasiun Besar B. Saat shift siang, rata-rata waktu selang antar kereta (kedatangan ataupun keberangkatan) di Stasiun Bandung adalah sekitar 12 menit, sedangkan saat shift malam adalah 18 menit. Selang antar kereta saat shift siang lebih pendek dibandingkan saat shift malam. Selang waktu antar kereta tercepat saat shift siang dan malam adalah sama yaitu satu menit, sedangkan selang waktu antar kereta terlama adalah 36 menit saat shift siang, sedangkan untuk shift malam adalah tiga jam (tidak ada jadwal kedatangan ataupun keberangakatan kereta api dari pukul 00.00-03.00). Selain itu, jumlah jalur dan jumlah wesel pada Stasiun Bsandung hampir dua kali lipat dari Stasiun Besar B. Banyaknya jumlah jalur akan mengakibatkan lebih banyak lagi kereta yang masuk ataupun keluar yang akan dikontrol oleh PPKA.

Kondisi lingkungan kerja pada ruangan PPKA Stasiun Besar B terletak didalam stasiun dimana bercampur dengan suasana ramainya peron dan suara kereta api. Hal ini sangat berbeda dengan ruangan PPKA pada Stasiun Besar A yang terpisah dari peron. Pada saat bekerja, petugas PPKA Stasiun Besar A hanya sendiri di dalam ruangan. Meskipun ruangan PPKA Stasiun Besar B sangat ramai, namun hal tersebut ternyata memberikan hal positif berupa adanya interaksi sosial dengan beberapa individu seperti juru langsir atau bahkan para penumpang. Ruangan PPKA Stasiun Besar A yang terpisah jauh dari peron mengakibatkan lebih kecilnya kesempatan petugas PPKA untuk berinteraksi sosial. Menurut Knauth et al. (1983) dalam Helander (2006), seorang pekerja yang terganggu kehidupan sosial akan dapat berpengaruh kepada performansi kerja serta meningkatnya kesalahan dan kecelakaan kerja.

Petugas PPKA pada Stasiun Besar B memiliki dua tugas karena merangkap sebagai PAP (Pengawas Peron) dimana mereka harus turun langsung ke peron untuk masalah keberangkatan, kedatangan, bahkan mengatur penumpang. Jika dilihat, beban kerja petugas PPKA Stasiun Besar B dirasa lebih besar karena memiliki dua tugas jika dibandingkan dengan PPKA Stasiun Besar A. Namun hal tersebut tidak didukung dari hasil pengujian statistik pada penelitian ini. Fasilitas meja pelayanan pada Stasiun Besar B lebih modern dan memudahkan petugas karena berbentuk elektrik berbasis komputer.

Hal ini berbeda dengan meja pelayanan PPKA Stasiun Besar A yang berupa semi elektrik dimana petugas harus menekan tombol-tombol tertentu secara manual untuk membuka atau menutup jalur.

ISBN 978-602-73461-8-5

Seluruh partisipan penelitian ini berjenis kelamin pria. Terdapat kemungkinan adanya perbedaan hasil jika dilakukan pada partisipan wanita. Pria menghasilkan waktu reaksi yang lebih cepat jika dibandingkan dengan wanita (Jain et al., 2015 ; Blatter et al., 2006). Beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran adalah kepribadian ataupun gaya hidup. Jain et al. (2015) mendeskripsikan bahwa individu yang rutin olahraga dan memiliki gaya hidup sehat menghasilkan reakasi yang lebih cepat. Sekitar 13% dari seluruh partisipan memiliki kebiasan minum kopi saat bekerja dimana kecepatan reaksi yang dihasilkan adalah tercepat jika dibandingkan partisipan lainnya. Pagar et al. (2014) mendeskrispikan bahwa kafein meningkatkan perhatian dan kewaspadaan sehigga berdampak pada reaksi yang lebih cepat. Namun faktor-faktor tersebut tidak dibahas pada penelitian ini.

4. Kesimpulan dan Saran

Hasil penelitian ini menunjukkan tidak adanya perbedaan kecepatan reaksi yang signifikan antara PPKA Stasiun Besar A dan Stasiun Besar B. Namun data menunjukkan bahwa kecepatan reaksi PPKA Stasiun Besar A lebih lambat daripada PPKA Stasiun Besar B. Uji statistika pun menunjukkan tidak adanya perbedaan kecepatan reaksi antara PPKA kedua stasiun tersebut yang diakibatkan oleh interaksi antara jenis stasiun atau jenis perlakuan yang diberikan. Namun, uji statistika menunjukkan adanya perbedaan kecepataan reaksi yang signifikan antara stimulus *audio* dan stimulus *audio visual*. Kecepatan reaksi saat partisipan diberikan stimulus *audio visual* lebih cepat jika dibandingkan stimulus *visual*. Hasil uji statistik lainnya menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan antara hasil pengukuran sebelum bekerja dan setelah bekerja. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh kerja terhadap waktu reaksi PPKA tidak terlalu besar.

Stasiun Besar A memiliki lalu lintas lebih padat dimana jumlah jalur dan jumlah wesel lebih banyak daripada Stasiun Besar B. Kondisi ruangan PPKA Stasiun Besar A terpisah dari keramaian. Namun meja pelayanan pada Stasiun Besar A berupa semi elektrik, berbeda dengan Stasiun Besar B yang telah elektrik berbasis komputer. Petugas PPKA Stasisun B memiliki pekerjaan rangkap, yaitu sekaligus sebagai petugas PAP. Hipotesis awal pada penelitian ini adalah adanya perbedaan yang signifikan antara kedua stasiun, namun pada penelitian ini hal tersebut tidak terbukti. Kecepatan reaksi petugas PPKA Stasiun Besar A lebih lambat dibandingkan dengan PPKA Stasiun Besar B. Meskipun PPKA Stasiun Besar B memiliki pekerjaan rangkap, namun hal tersebut tidak mengakibatkan kecepatan reaksi yang lambat. Padatnya lalu lintas, kondisi kerja yang terisolir serta meja pelayanan yang berbasis semi elektrik pada Stasiun Besar A memungkinkan dapat mengakibatkan kelelahan dan penurunan performansi sehingga berdampak pada kecepatan reaksi yang lebih lambat. Penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun kondisi dan beban kerja PPKA dari masing-masing stasiun berbeda, namun hal tersebut belum tentu secara signifikan mempengaruhi kecepatan reaksi dari setiap petugas. Sebagian besar PPKA Stasiun B dan setengahnya PPKA Stasiun A menghasilkan kecepatan reaksi yang masuk dalam kategori kewaspadaan yang baik dan dapat dikatakan tidak menunjukkan indikasi kelelahan yang tinggi.

Subjek pada penelitian ini adalah PPKA pada Stasiun Besar A dan B. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan berupa pengamatan terhadap PPKA di seluruh Stasiun Besar, yaitu Stasiun A, B dan C. Pengembangan penelitian pun dapat dikembangkan dengan membandingkan antara stasiun besar dengan stasiun sedang dan stasiun kecil.

ISBN 978-602-73461-8-5

Daftar Pustaka

Basahel, A. 2012. Effect on Physical and Mental Workload Interactions on Human Attentional Resources and Performance : Tesis Terpublikasi. Brunel University.

Basner, M.,dan Dinges, D.F. (2011). Maximizing Sensitivity Of The Psychomotor Vigilance Test (PVT) to Sleep Loss. *University of Pennsylania School of Medicine*, Vol. 34 (5)

Basner, M., Mollicone, D., dan Dinges, D. F. (2011). Validity And Senstivity Of A Brief Psychomotor Vigilance Test (Pvt-B) To Total And Partial Sleep Deprivation. *Acta Austronatica*, Vol. (69), pp. 949-959

Blatter, K., Graw, P., Munch, M., Knoblauch, V., Justice, A.W., dkk. (2006). Gender and Age Differences In Psychomotor Vigilance Performance Under Differential Sleep Pressure Condition. *Behaviourial Brain Research*, Vol. (168), pp.312-317

Fan, J dan Smith, P. (2017). The Impact On Workload and Fatigue On Performance. *Human Mental Workload : Models and Application*, 90-105

Helander, M. (2006). *A Guide to Human Factors and Technology*. Taylor and Francis Group. London

Indrawan, F. 2014. *Evaluasi Performansi Kognitif KRU Darat PT. Kereta Api Indonesia DAOP II Bandung dengan Menggunakan Cognitive Failure Questionnaire dan Direct RT.* E-Jurnal Teknik Industri ITENAS. Vol. (2),No. (4),pp.401-411.

Jain, A., Bansal, R., Kumar, A., Signh, KD. (2015). A Comparative Study Of Visual and Auditpry Reaction Times On The Basis Of Gender and Physical Activity Levels Of Medical First Year Students. *Int J Appl Basic Med res*, Vol. (5), No. (2), pp. 124-127.

Jay, S. M., Dawson, D., Ferguson, S. A., dan Lamond, D. (2008). Driver Fatigue Extended Rail Operations. *Applied Ergonomics*, Vol. (39), pp. 623-620.

Jung, H.S dan Jung, H.S. 2001. Establishment of overall workload assessment technique fot various tasks and workplaces. *Internation Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. (28), pp. 341-353.

Kementerian Perhubungan. (2017). *Statistik Perhububgan 2017 Buku I*. Pustikomhub

Konsinski, R. J. 2012. *A Literature Review on Reaction Time*. Clemson University

Kuswana, W. 2014. *Ergonomi dan K3 Kesehatan Keselamatan Kerja*. PT. Remaja Rosdakarya.

Loh, S., Lamond, N., Dorrian, J., Roach, G., dan Dawsn, D. (2004). The Validity Of Physchomotor Vigilance Tasks Of Less Than 10 Minutes Duration*. Behaviour Research Methods*, *Instruments dan*Computers, Vol. (36), No. (2), pp. 339-346.

Pagar, A.B., Raut, S.E., Bhutada, T.B. (2014). Effect On Caffeine On Alertness Of Young Healthy Adults. *Journal of Dental and Medical Sciences*, Vol (13), No (7), pp. 14-16

Tucker, A.M., Whitney, P., Balenky, G., Hinson, J.M., dan Van Dongen H.P. (2010). Effects of Sleep Deprivation on Dissociated Components of Executive Functioning. *Sleep*, Vol. (33),No (1),pp. 47-57.

Ummul, S.,dan Kameswara, R. K. (2012). Shift Work And Fatigue*. IOSR Journal Of Environmental Science, Toxicology and Food Technology(IOSR-JESTFT*), Vol. (1), No. (3)

Williamson, A., Lombardi, D. A., Folkard, S., Stutts, J., Courtney, T.K., dan Connor, J.L. (2009). The Link Between Fatigue And Safety: Accidents Analysis And Prevention. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. (43),No. (2),pp. 498-515.

Yogi, J dan Hirkarni, M. (2016). Effect of Sleep Deprivation on Audio-Visual Reaction Time in Resident Doctors- a Measure of Task Performance. *Indian Journal of Basic and Applied Medical Research*, Vol. (5), No. (2), pp. 29-35

ISBN 978-602-73461-8-5

Analisis Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja dengan Metode HIRARC Pada Aktivitas Pemuatan Semen di PT. XYZ

Lukman Setiadi*, Rani Aulia Imran
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik
Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Mayjend Sungkono Km. 5, Blater, Kalimanah, Purbalingga 53371
*Email: lukmansetiadi834@gmail.com

Intisari

Setiap tempat kerja memiliki risiko terjadinya kecelakaan kerja, baik yang potensi yang rendah atupun berpotensi tinggi. Potensi ini dapat berbeda-beda tergantung pada jenis industri, teknologi, dan pengendalian perusahaan terhadap K3. PT XYZ yang merupakan perusahaan produksi semen, memiliki potensi bahaya di tempat kerja salah satunya pada aktivitas pemuatan semen dilakukan secara semi otomatis menggunakan tenaga mesin dan manusia pada prosesnya. PT XYZ telah menerapkan OHSAS18001 dengan proses pengendalian risiko pada perusahaan sebagai upaya mencegah kecelakaan kerja. Namun perlu adanya evaluasi yang kontinu terhadap kondisi kerja agar resiko bahaya dapat diminimalisir. Tujuan penelitian ini adalah melakukan identifikasi potensi bahaya dan pengendaliannya diukur dari kondisi dan aktivitas pekerjaan menggunakan HIRARC (Hazard Identification, Risk Assessment Risk Control). Pengambilan data dilakukan secara kualitatif dengan teknik pengumpulan data menggunakan cara observasi lapangan, telaah dokumen, dan wawancara Berdasarkan hasil penelitian didapatkan sumber bahaya yang ada pada proses pemuatan semen baik ke atas truk maupun ke mobil bulk. Terkait kondisi yang berbahaya diantaranya adalah kondisi lingkungan berdebu, tertimpa material semen, terjatuh dari truk dan bulk, terjepit belt konveyor, dan tertabrak truk. Nilai work risk assessment control (WRAC) yang ditunjukkan antara 8 sampai 22, dengan 7 dampak yang beresiko ketat. Hasil penelitian menunjukan bahwa perusahaan perlu melakukan meningkatkan pencegahan berupa engineering control dan pengendalian penggunaan APD untuk meminimalisir dampak yang terjadi.

Kata Kunci: HIRARC, Pemuatan Semen, Keselamatan dan Kesehatan Kerja

1. Pendahuluan

Kecelakaan kerja adalah kejadian tak terduga dan tidak diharapkan secara tiba-tiba yang menimbulkan kerugian, baik dari waktu, harta, jiwa dan mempengaruhi bisnis perusahaan (UU Nomor 1 Tahun 1970). Setiap tempat kerja selalu mempunyai potensi terjadinya kecelakaan. Besarnya potensi yang terjadi tergantung dari jenis industri, teknologi yang digunakan, serta upaya pengendalian risiko yang dilakukan (suma'mur, 2014). Pendekatan K3 secara ilmiah mengemukakan teori sebab kecelakaan, yaitu tindakan manusia yang tidak mematuhi aturan keselamatan (*unsafe human act*) dan keadaan lingkungan yang tidak aman (*unsafe conditions*). Untuk mengenali potensi bahaya ini diperlukan identifikasi agar dapat dilakukan pengendalian yang sesuai.

Menurut ILO (*International Labor Organization)*, setiap tahun ada lebih dari 250 juta kecelakaan di tempat kerja dan lebih dari 160 juta pekerja menjadi sakit karena bahaya di tempat kerja. Total 1,2 juta pekerja meninggal akibat kecelakaan dan penyakit

ISBN 978-602-73461-8-5

akibat kerja, sehingga biaya pengobatan dan kompensasi kerja sangat tinggi (Ramli, 2010). Di Indonesia berdasarkan data Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS) Ketenagakerjaan jumlah kasus kecelakaan kerja mengalami peningkatan. Tahun 2015 telah terjadi kecelakaan kerja sebanyak 110.285 kasus. Sementara itu, untuk kasus kecelakaan berat yang mengakibatkan kematian tercatat sebanyak 2.375 kasus dari total jumlah kecelakaan kerja. Tahun 2016 sejumlah 105.182 kasus, sedangkan baru sampai bulan agustus tahun 2017 terdapat kecelakaan kerja sebanyak 80.392 kasus. Hal ini perlu menjadi perhatian agar kasus kecelakaan kerja dapat dikurangi.

Manajemen risiko ini terbagi atas tiga bagian yaitu *Hazard Identification, Risk Assessment dan Risk Control,* biasanya dikenal dengan singkatan HIRARC. Hal ini tertera pada OHSAS 18001, sebagai salah satu panduan penerapan sistem manajemen keselamatan dan kesehatan, menjelaskan pada klause 4.3.1 bahwa organisasi harus menetapkan, membuat, menerapkan, dan memelihara prosedur untuk melakukan identifikasi bahaya, penilaian risiko dan menentukan pengendalian bahaya dan risiko yang diperlukan. Metode ini yang menentukan arah penerapan K3 dalam perusahaan (Ramli, 2010), dan aspek keselamatan dan kesehatan kerja merupakan bagian integral dalam organisasi perusahaan.

PT. XYZ adalah perusahaan semen di Indonesia yang memiliki 7594 karyawan, baik yang tetap ataupun kontrak. Perusahaan sudah menerapkan OHSAS 18001 untuk mencegah kecelakaan kerja dengan salah satu langkahnya yaitu mengidentifikasi, menilai dan memberikan pengendalian pada setiap pekerjaan dengan metode HIRARC. Akan tetapi penilaian dan pengendalian yang dilakukan perusahaan yaitu didasarkan pada aktivitas kerja. Oleh karena itu, peneliti melakukan penelitian dengan metode HIRARC (*Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control*) untuk melengkapi penilaian dan melakukan pengendalian berdasarkan besar resiko dan dampak dari potensi tersebut.

2. Kajian Pustaka

Pada proses terjadinya kecelakaan terkait empt unsur produksi, yakni manusia, peralatan, material dan lingkungan kerja yang saling berinteraksi (Ramli, 2010). Sehingga, pengelolaan resiko K3 harus dikelola sama dengan aspek lain perusahaan dengan pendekatan manajemen modern yakni perencanaan, pengelolaan, implementasi dan pengawasan. OHSAS pertama kali dikenalkan tahun 1997 yang hingga kini disempurnakan. Manajemen resiko merupakan pusat dari manajemen K3, bila ada bahaya maka manajemen K3 diperlukan sebagai antisipasi adanya resiko. Prosedur identifikasi bahaya dan penilaian resiko harus mempertimbangkan jenis aktifitas rutin/non rutin, perilaku manusia, kemampuan dan faktor manusia, identifikasi bahaya di dalam dan di luar tempat kerja, infrastruktur, peralatan dan material.

3. Metode

Penelitian ini merupakan studi observasi di bulan Agustus 2018 pada proses produksi semen, terkhusus pada proses pemuatan semen. Kegiatan yang dikaji dibatasi pada aktivitas pekerja di pemuatan semen dibagian *packing* PT. XYZ. Pengambilan data dilakukan dengan pengamatan secara langsung dan wawancara, yang ditujukan untuk mendapatkan informasi mengenai risiko keselamatan kerja. Data sekunder yang digunakan adalah dokumen yang dimiliki oleh Divisi SHE PT. XYZ mengenai penilaian risiko bahaya di area *packing house*.

Tabel 1. Penilaian Tingkat Kemungkinan *Occurance/O*

Kemungkinan	Skor
Sering Sekali (harian)	5

ISBN 978-602-73461-8-5

Kemungkinan	Skor
Sering (mingguan)	4
Agak sering (bulanan)	3
Jarang (tahunan)	2
Dapat terjadi	1

Penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi bahaya, melakukan penilaian risiko dan pengendalian risiko dengan metode HIRARC. Tahap awal yaitu mengidentifikasi seluruh bahaya yang ada di lapangan pada saat proses pemuatan dilakukan. Setelah semua bahaya telah teridentifikasi, dilakukan penilaian risiko melalui analisis dan evaluasi risiko, yang didukung oleh hasil wawancara pihak SHE. Hasil analisis ditentukan peringkat risiko berdasarkan nilai tingkat kemungkinan pada Tabel 1 dan penilaian tingkat keparahan pada Tabel 2. Resiko yang telah dihitung, dapat dipilah jenis risiko yang memiliki dampak besar terhadap perusahaan dan risiko yang ringan atau dapat diabaikan.

Tabel 2. Penilaian Tingkat Keparahan *Severity/S*

Cidera/ penyakit akibat kerja	Asset/ lingkungan (x $100)	Produksi (x $100)	Skor
Fatal atau cacat (>6 Bulan)	Kerusakan: > 500	Kerusakan: > 500	5
Cidera serius (1-6 Bulan)	Kerusakan: 100-500	Kerusakan: 100-500	4
Cidera berat (3-30 Hari)	Kerusakan: 50-100	Kerusakan: 50-100	3
Cidera ringan (< 2 Hari)	Kerusakan: 5 – 50	Kerusakan: 5 – 50	2
Tidak cidera	Kerusakan: < 5	Kerusakan: < 5	1

Hasil analisis risiko dibandingkan dengan kriteria yang sesuai skor untuk menentukan apakah risiko tersebut dapat diterima atau tidak. Menetukan batas resiko yang dapat diterima (ALARP) tidaklah mudah. Terlihat pada tabel 3, jika risiko dinilai tidak dapat diterima, harus ada pengendalian resiko untuk mengantisipasi kerugian yang mungkin terjadi.

Tabel 3. Penentuan Tingkat Risiko

(S) \ (O)	1	2	3	4	5
1	1	2	4	7	11
2	3	5	8	12	16
3	6	9	13	17	20
4	10	14	18	21	23
5	15	19	22	24	25

Risiko harus ditekan, tetapi akan dibatasi oleh faktor biaya, teknologi, kepraktisan, kebiasaan dan kemampuan dalam menjalankannya dengan berkelanjutan (Ramli, 2010). Setelah ditentukan tingkat resikonya, langkah selanjutnya adalah mengklasifikasikan resiko untuk menetapkan tingkat pengawasan dan pengendalian resiko agar dapat meminimalisir atau mengeliminasi risiko kecelakaan kerja. Pengendalian risiko kecelakaan kerja dapat dilakukan melalui beberapa langkah yakni: eliminasi sumber

ISBN 978-602-73461-8-5

bahaya, subtitusi, kontrol desain dan rekayasa, kontrol administratif , dan bila tidak ada solusi lainnya maka perlu diadakan alat pelindung diri (APD).

Tabel 4. Klasifikasi Risiko WRAC (*Workplace Risk Assessment and Control*)

No	Tingkat pengendalian	Tabel WRAC	Tingkat pengawasan	Pengendalian
1	Tinggi	23-25	*Department Head*	*Fault Tree Analysis, Task Analysis*
2	Ketat	18-22	*Section Head*	FMEA, HAZOP
3	Bersyarat	10-17	*Supervision*	SOP, *Work Instruction, What if, Bainstorming*
4	Rendah	1-9	*Foreman*	JSA, Data Kejadian, Data Periksa

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan pengamatan lapangan yang telah dilakukan, identifikasi potensi bahaya cukup banyak. Seluruh potensi bahaya dituliskan berdasar aktifitasnya, agar dapat melihat potensi kecelakaan secara keseluruhan. Dampak dari kecelakaan yang mungkin terjadi pada proses pemuatan semen pun cukup besar, perlu adanya pengendalian untuk mengantisipasi kecelakaan tersebut. Berikut hasil identifikasi bahaya dari hasil observasi pada Tabel 5.

Tabel 5. Identifikasi bahaya pada proses pemuatan semen di *packing house*

No	Aktifitas	Identifikasi Bahaya	Jenis Bahaya	Risiko/dampak yang dihasilkan
1	Pemuatan semen diatas truk	1. Kondisi Lingkungan Berdebu	Fisik	1. gangguan pernapasan 2. penyakit pernapasan kronis 3. Iritasi mata
		2. Tertimpa material semen	Fisik	1. Jari-jari kaki membengkak 2. Jari kaki mati rasa
		3. Terjatuh dari truk	Fisik	1. Kaki patah/terkilir 2. Kepala terbentur benda keras
		4. Terjepit Belt Konveyor	Mekanis	1. Kulit Terkelupas 2. Kuku Jari Terkoyak 3. Amputasi Tangan
		5. Tertabrak Truk	Fisik	1. Badan terjepit truk
2	Pemuatan semen dengan mobil bulk	1. Kondisi Lingkungan Berdebu	Fisik	1. gangguan pernapasan 2. penyakit pernapasan kronis 3. Iritasi mata
		3. Terjatuh dari bulk	Fisik	1. Meninggal dunia 2. Kepala tebentur benda keras 3. Tubuh terbanting ke lantai 4. Patah kaki/terkilir
		4. Terjatuh dari area kendali	Fisik	1. Kepala tebentur benda keras 2. Tubuh terbentur benda keras 3. Patah kaki/terkilir

ISBN 978-602-73461-8-5

Setelah dilakukan identifikasi risiko, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis risiko dari setiap tahapan pekerjaan proses pemuatan semen. Analisis risiko dalam penelitian ini menggunakan metode HIRARC berdasarkan OHSAS 18001 : 2007. Berdasarkan data yang didapatkan berupa observasi, wawancara dengan pekerja dan data dokumen didapatkan hasil penilaian risiko berupa ketentuan *work risk assessment control* (WRAC) merupakan hasil dari tabel kemungkinan (O) dikalikan dengan tabel konsekuensi (S). Penilaian risiko pada proses pemuatan semen PT. XYZ dapat dilihat pada Tabel 6. Terdapat resiko bernilai WRAC rendah sebanyak 4 dampak, 10 bernilai bersyarat dan 6 bernilai ketat dari 21 kemungkinan resiko yang terjadi.

Pengedalian risiko merupakan langkah penting dan menentukkan dalam keseluruhan manajemen risiko. Jika pada tahapan sebelumnya lebih banyak bersifat konsep dan perencanaan, maka pada tahap ini sudah merupakan realisasi dari upaya pengelolaan risiko dalam perusahaan. Dalam OHSAS 18001 memberikan pedoman pengendalian risiko yang lebih spesifik untuk bahaya K3 dengan pendekatan yang diantaranya: Eliminasi, subsitusi, *engineering control*, pengendalian administratif, alat pelindung diri (APD).

Tabel 6. Penilaian risiko pada proses pemuatan semen PT. XYZ

No	Aktifitas	Identifikasi Bahaya	Jenis Bahaya	Dampak yang dihasilkan	*Occurance*	*Severity*	*WRAC	Tingkat Risiko
1	Pemuatan semen diatas truck	1. Kondisi Lingkungan Berdebu	Fisik	1. gangguan pernapasan	5	2	16	Bersyarat
				2. penyakit pernafasan lain	2	3	9	Rendah
				3. Iritasi mata	4	2	12	Bersyarat
		2. Tertimpa material semen	Fisik	1. Jari-jari kaki membengkak	2	3	9	Rendah
				2. Jari kaki mati rasa	3	2	8	Rendah
		3. Terjatuh dari truck	Fisik	1. Kaki patah/terkilir	3	5	22	Ketat
				2. Kepala terbentur benda keras	2	5	19	Ketat
		4. Terjepit Belt Konveyor	Mekanis	1. Kulit Terkelupas	3	4	18	Ketat
				2. Kuku Jari Terkoyak	3	3	13	Bersyarat
				3. Amputasi Tangan	1	5	15	Bersyarat
		5. Tertabrak Truck	Fisik	1. Badan terjepit truck	2	4	14	Bersyarat
2								
		1. Kondisi Lingkungan Berdebu	Fisik	1. gangguan pernapasan	5	2	16	Bersyarat
				2. penyakit pernafasan kronis	2	3	9	Rendah
				3. Iritasi mata	4	2	12	Bersyarat
	Pemuatan semen dengan mobil bulk	3. Terjatuh dari bulk	Fisik	1. Meninggal dunia	1	5	15	Bersyarat
				2. Kepala tebentur benda keras	2	5	19	Ketat
				3. Tubuh terbanting ke lantai	3	4	18	Ketat
				4. Patah kaki/terkilir	2	5	19	Ketat
		4. Terjatuh dari area	Fisik	1. Kepala tebentur benda keras	1	5	15	Bersyarat

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Aktifitas	Identifikasi Bahaya	Jenis Bahaya	Dampak yang dihasilkan	*Occurance*	*Severity*	*WRAC	Tingkat Risiko
		kendali		2. Tubuh terbentur benda keras	2	4	14	Bersyarat
				3. Patah kaki/terkilir	2	5	19	Ketat

Hasil observasi yang telah dilakukan menunjukkan terdapat beberapa pendekatan pengendalikan resiko yang dapat dilakukan pada area pemuatan semen. *Engineering Control* yang disarankan adalah dengan menambahkan *roller* setelah material semen berjalan di atas konveyor, sehingga pekerja tidak mengangkat secara manual. Untuk meminimalisir debu, dapat menggunakan pengendalian kelembaban atau pengaturan sirkulasi udara yang baik. Posisi dan metode kerja diatur agar resiko tertimpa, terjepit dan jatuh dari kendaraan dapat dihilangkan.

Untuk *administrative control* yang dapat dilakukan oleh perusahaan yaitu mengatur jadwal kerja agar pekerja tidak terlalu lelah dan mengindahkan SOP serta menindak tegas pekerja yang melanggar aturan keselamatan. Kondisi dari pekerja juga perlu dievaluasi, apakah mengalami gangguan pernafasan, cidera atau penyakit lainnya akibat pekerjaannya. Pengendalian resko terakhir yakni penggunaan alat perlindungan diri yang sesuai yakni respirator, helm, sepatu *safety*, dan sarung tangan. Selain pendekatan sebelumnya, perlu dilakukan *safety talk* sebelum memulai pekerjaan, training dan pelatihan keselamatan kerja juga perlu ditingkatkan untuk menyadarkan pekerja akan pentingnya keselamatan diri dan orang lain.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 7. Pengendalian Risiko pada Proses Pemuatan Semen

No	Aktifitas	Identifikasi Bahaya	Jenis Bahaya	Dampak yang dihasilkan	*WRAC	Tingkat Risiko	Pengendalian
1	Pemuatan semen diatas truck	1. Kondisi Lingkungan Berdebu	Fisik	1. gangguan pernapasan	16	Bersyarat	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, masker
				2. penyakit pernafasan lain	9	Rendah	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, minum air putih setelah bekerja, masker
				3. Iritasi mata	12	Bersyarat	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, *safety glass,* segera membasuh mata apabila material masuk mata
		2. Tertimpa material semen	Fisik	1. Jari-jari kaki membengkak	9	Rendah	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, *Safety Shoes,* jatuhkan material di tempat yang aman dengan jarak kaki
				2. Jari kaki mati rasa	8	Rendah	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, *Safety Shoes,* jatuhkan material di tempat yang aman dengan jarak kaki
		3. Terjatuh dari truck	Fisik	1. Kaki patah/terkilir	22	Ketat	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, *Body Hearness, Safety Shoes*
				2. Kepala terbentur benda keras	19	Ketat	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, *Body Hearness, Safety Shoes*
		4. Terjepit Belt Konveyor	Mekanis	1. Kulit Terkelupas	18	Ketat	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, *Safety gloves, wearpack,* penambahan roll antara konveyor dan *sliding blade*
				2. Kuku Jari Terkoyak	13	Bersyarat	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, *Safety gloves, wearpack,* penambahan roll antara konveyor dan *sliding blade*
				3. Amputasi Tangan	15	Bersyarat	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, *Safety gloves, wearpack,* penambahan roll antara konveyor dan *sliding blade*
		5. Tertabrak Truck	Fisik	1. Badan terjepit truck	14	Bersyarat	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, *Safety Helmet, Safety Gloves, safety shoes, wearpack,* Supir perlu mengganjal ban untuk truk yang parkir.

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Aktifitas	Identifikasi Bahaya	Jenis Bahaya	Dampak yang dihasilkan	*WRAC	Tingkat Risiko	Pengendalian
2	Pemuatan semen dengan mobil bulk	1. Kondisi Lingkungan Berdebu	Fisik	1. gangguan pernapasan	16	Bersyarat	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, masker
				2. penyakit pernafasan kronis	9	Rendah	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, Minum air putih setelah bekerja, masker
				3. Iritasi mata	12	Bersyarat	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, *safety glass,* segera membasuh mata apabila material masuk mata
		3. Terjatuh dari bulk	Fisik	1. Meninggal dunia	15	Bersyarat	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, *wearpack, body harness, safety helmet, safety shoes, safety gloves*
				2. Kepala tebentur benda keras	19	Ketat	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, *wearpack, body harness, safety helmet, safety shoes, safety gloves*
				3. Tubuh terbanting ke lantai	18	Ketat	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, *wearpack, body harness, safety helmet, safety shoes, safety gloves*
				4. Patah kaki/terkilir	19	Ketat	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, *wearpack, body harness, safety helmet, safety shoes, safety gloves*
		4. Terjatuh dari area kendali	Fisik	1. Kepala tebentur benda keras	15	Bersyarat	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, *wearpack, body harness, safety helmet, safety shoes, safety gloves*
				2. Tubuh terbentur benda keras	14	Bersyarat	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, *wearpack, body harness, safety helmet, safety shoes, safety gloves*
				3. Patah kaki/terkilir	19	Ketat	*Safety talks and tool box meeting*, membuat JSA, *wearpack, body harness, safety helmet, safety shoes, safety gloves*

ISBN 978-602-73461-8-5

Pengendalian risiko di atas sebagian besar merupakan pengendalian Alat Pelindung Diri yang pekerja pakai. Hal ini terkait dengan kondisi di lapangan dalam pelaksanaanya masih ada pekerja yang mengabaikan keselamatan dan tidak menggunakan APD dengan benar. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan pengendalian lainya seperti rutin melaksanakan *safety talks* sebelum memulai pekerjaan, membuat JSA (*Job Safety Analysis)* dalam semua aktivitas kerja, melakukan *On Job Training*, pemberian SOP pekerjaan dengan jelas, dan meningkatkan pengawasan pekerja oleh atasan dengan pemenuhan persyaratan CSMS (*Contractor Safety Management System*) untuk kontraktor yang ingin bekerja.

5. Kesimpulan

Hasil identifikasi bahaya keselamatan kerja pada proses pemuatan semen di *packing house* yaitu: kondisi lingkungan yang berdebu, tertimpa material semen, terjatuh dari truk, terjepit belt konveyor, tertabrak truk, terjatuh dari bulk, terjatuh dari area kendali. Dampak/risiko kecelakaan kerja yang berpotensi pada proses pemuatan semen yaitu: Gangguan pernapasan, penyakit pernapasan kronis, iritasi mata, dan resiko patah tulang. Pengendalian risiko yang perlu dilakukan yaitu inspeksi peralatan kerja, *safety talk*, JSA (*Job Safety Analysis*), Kelengkapan Alat Pelindung Diri (*Safety glass, safety helmet, body harness, safety gloves, masker, safety shoes, ear plug*), melakukan OJT (*On Job Training*), tersedianya SOP (*Standard Operasional Prosedur*) yang jelas, dan *engineering control* pada belt konveyor dengan memodifikasi jarak *slading blade* dan konveyor sehingga lebih aman digunakan.

Daftar Pustaka

BPJS Ketenagakerjaan, 2017. Annual Report Jumlah Kecelakaan kerja di Indonesia. Jakarta

Depnaker RI. 1999. Dokter Hiperkes. Jakarta

International Labour Organization. 2013. *Keselamatan dan Kesehatan Kerja Sebagai Sarana Untuk Produktivitas* . Jakarta

Irawan, Shandy. 2015. *Identification Risk Assessment and Risk Control(HIRARC) DiPT.X*. Surabaya: jurnal Titra vol.3, No 1 pp. 15-18

Moloeng, Lexy J., 2004, *Metode Penelitian Kualitatif,* Bandung, Rosda.

OHSAS 18001:2007, Panduan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja.

Prastowo, Andi, 2010, *Menguasai Teknik-Teknik Koleksi Data Penelitian Kualitatif*, Yogyakarta: DIVA Press

Ramli, Soehatman. 2010. *Seri Manajemen K3 1: Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja OHSAS 18001*. Jakarta: Dian Rakyat.

Silalahi, Bannett dan Rumondang. 1991. *Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. Jakarta: PT Pustaka Binaman Pressindo

Suma'mur, P.K., 2014, *Keselamatan Kerja dan Pencegahan Kecelakaan*., PT Toko Gunung Agung, Jakarta

Undang-Undang RI No 1 Tahun 1970 Mengenai Keselamatan Kerja.

ISBN 978-602-73461-8-5

Atribut Spesifikasi Produk pada Desain Sepeda Anak Usia 6-12 Tahun Menggunakan Metode *Rapid Etnografi*

Marcellino Aditya Mahendra, Rini Dharmastiti
Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No.2, Yogyakarta, Indonesia
*Email: marcellinoam@staff.ukdw.ac.id

INTISARI

Desain sepeda anak yang ada saat ini masih memiliki banyak kekurangan, salah satunya adalah pendeknya masa pakai sepeda. Sepeda yang digunakan anak umur 6 tahun, akan tidak nyaman digunakan 2 tahun kemudian, karena pertumbuhan tubuh anak yang pesat. Setiap pengembangan produk baru perlu dilandasi oleh kebutuhan pengguna, untuk menghindari ketidaksesuaian. Customer need dapat diperoleh melalui berbagai teknik seperti kuisioner, FGD, atau dengan bertanya secara langsung. Untuk benar-benar mengetahui customer need, peneliti menggunakan pendekatan etnografi, dimana proses pengamatan dilakukan tanpa mempengaruhi obyek penelitian. Namun etnografi membutuhkan waktu yang bertahun-tahun. Sedangkan dalam mengembangkan sebuah produk baru memerlukan siklus waktu yang relatif cepat. Hal ini dapat diselesaikan dengan menggunakan pendekatan etnografi yang lebih spesifik lagi, yaitu rapid ethnography. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui atribut spesifikasi produk pada sepeda anak yang dapat digunakan pada rentang umur anak antara 6-12 tahun.

Kata kunci : Sepeda Anak, Customer need, Sustainable Product, Rapid Ethnography, Desain Produk

1. Pendahuluan

Penelitian yang dilakukan oleh Mehta, *et.al.* (2013), memperkirakan bahwa sekitar 70 % dari biaya produk manufaktur dihabiskan dalam tahap pengembangan desain produk, dan diperkirakan sekitar 80 % dari kualitas kronis masalah dalam pembuatan dapat ditelusuri untuk isu-isu pada desain produk. Jelas pentingnya desain pada efisien produk manufaktur dan kualitas produk yang tinggi tidak dapat dibesar-besarkan. Sebuah pengembangan produk tidaklah cukup hanya dengan menerapkan teknologi yang ada, diperlukan juga penyesuaian dengan budaya dan kebiasaan masyarakat tertentu. Hal ini dapat dicapai melalui berbagai teknik seperti kuisioner, FGD, atau dengan bertanya secara langsung pada responden. Beberapa teknik pengambilan data tersebut melibatkan interaksi yang intens antara peneliti dan responden, sehingga memungkinkan peneliti menpengaruhi pola pikir responden. Sehingga dalam proses pengembangan sebuah produk, apabila peneliti gagal mendapatkan *customer need* dengan tepat, maka akan berakibat pada gagalnya produk dipasar.

Definisi *consumer insight* adalah proses mencari tahu secara lebih mendalam dan holistik, tentang latar belakang perbuatan, pemikiran, dan perilaku seorang konsumen yang berhubungan dengan produk dan komunikasi iklannya (Maulana, 2009). Peneliti/desainer tidak hanya dituntut untuk dapat mengerti kebutuhan dari pengguna, namun juga dapat memilah kebutuhan pengguna dari keinginan pengguna. Sehingga produk yang nantinya dihasilkan benar-benar dapat memenuhi *customer needs* dari pengguna.

ISBN 978-602-73461-8-5

Kebudayaan merupakan seluruh pengetahuan yang dipelajari manusia dan digunakan untuk menginterpretasi pengalaman dan membentuk tingkah laku, dan etnografi merupakan pendekatan penelitian yang membahas kebudayaan, baik yang eksplisit maupun implisit (Spradley, 1980). Untuk benar-benar mendapatkan *customer need,* maka digunakan teknik pengambilan data dengan pendekatan etnografi, dimana proses pengamatan dilakukan tanpa mempengaruhi obyek penelitian.

Pendekatan etnografi memungkinkan desainer untuk mengerti konsumennya, termasuk bagaimana cara konsumen bertindak, apa yang diinginkan konsumen ini bertujuan untuk mendeskripsikan kondisi masyarakat, perilaku, dan budayanya dalam bentuk tulisan sehingga dapat menghasilkan produk-produk dengan desain yang sesuai dengan kebutuhan dan selera masyarakat (Gusti, 2011). Namun Dalam menerapkan pendekatan etnografi dalam pengembangan sebuah produk terdapat satu masalah, yaitu lamanya proses pengambilan data. Tahap pengambilan data dapat memakan waktu yang bertahun-tahun, sedangkan dalam mengembangkan sebuah produk beru memerlukan siklus waktu yang relatif cepat. Masalah ini dapat diselesaikan dengan menggunakan pendekatan etnografi yang lebih spesifik lagi, yaitu *rapid ethnography.*

R*apid ethnography* adalah salah satu bentuk pendekatan etnografi yang menggunakan lebih sedikit responden, namun merupakan responden yang spesifik dengan tujuan penelitian (Millen, 2000). Dengan menggunakan *rapid ethnography* sebagai alat pencari data dalam pengembangan sebuah produk, diharapkan peneliti mendapatkan *customer need* dengan lebih cepat dibandingkan menggunakan pendekatan etnografi konvensional. *Rapid ethnography* memiliki kelemahan jika dibandingkan dengan etnografi konvensional, yaitu tingkat kevalidan data yang tidak sebaik etnografi konvensional. Sehingga dalam menggunakan pendekatan *Rapid Etnographic,* dibutuhkan juga adanya triangulasi data untuk meningkatkan kevalidan *customer need* yang didapat. Triangulasi data ini dilakukan dengan membandingkan pendapat ahli dan data dari informan 1 (*primary user*), dan data dari informan 2 (*secondary user*).

Pendekatan *rapid ethnography* dapat digunakan dalam pengembangan desain alat transportasi di Indonesia. Pada umumnya, alat transportasi pribadi yang pertama dikuasai adalah sepeda. Dengan asumsi seseorang belajar mengendarai sepeda pada usia dini (5 tahun), maka sepeda belajar yang digunakan sebaiknya menyesuaikan *customer need* dari pengguna. Namun seiring pertumbuhan tinggi tubuh anak, perlu dilakukan penyesuaian tinggi *saddle bar* dan *handle bar,* dan apabila sudah tidak dimungkinkan lagi, anak harus mengganti sepedanya sesuai dengan tinggi tubuhnya.

Pertumbuhan badan anak yang pesat ini tidak diimbangi dengan adanya desain sepeda anak yang dapat disesuaikan mengikuti pertumbuhan tubuh anak. Untuk memenuhi kebutuhan kenyamanan anak dalam bersepeda, maka diperlukan beberapa sepeda yang sesuai dengan anthropometri tubuh anak. Dengan adanya desain sepeda yang memiliki masa pakai yang lebih lama dari sepeda anak pada umumnya, maka sepeda anak yang nantinya akan di desain akan memiliki konsep *sustainable design. Sustainable design,* merupakan konsep desain yang mengintegrasikan 3 jenis elemen *(people, profit, planet)*, dan tidak hanya sekedar konsep ramah lingkungan (Clark,2009). Sehingga pengembangan produk dengan konsep *sustainable* tidak hanya dilakukan dengan upaya rekayasa pada material yang memiliki sifat *bio-degredable,* namun bisa juga dilakukan dengan memperpanjang masa pakai produk.

2. Metode

Dalam proses pengembangan desain produk untuk anak-anak, peran orangtua sangatlah penting (Lidiawati,2015). Orangtua berperan sebagai pengguna tidak

ISBN 978-602-73461-8-5

langsung dari produk untuk anak-anak, maka responden yang dibidik dalam perancangan ini adalah anak berusia 6 sampai 12 beserta orangtuanya, karena dalam *range* usia ini anak juga mengalami pertumbuhan badan yang pesat. Tidak hanya anak usia 6-12 tahun sebagai *primary user*, namun kepentingan serta kebutuhan orangtua sebagai *secondary user* juga diperhatikan. Hal ini dikarenakan orangtua juga turut berperan serta dalam pemilihan dan pembelian sepeda yang akan digunakan oleh anaknya.

Identifikasi kebutuhan *user* dilakukan menggunakan pendekatan rapid etnografi. Untuk mendapatkan *customer needs* dari pengguna primer (anak usia 6-12 tahun) dan sekunder (orangtua) dengan menggunakan pendekatan *rapid etnography* jumlah responden yang akan dilibatkan adalah 1 anak pada setiap umur mulai dari usia 6 sampai 12 tahun beserta orangtuanya masing-masing. Dari ke-12 alternatif teknik interaktif etnografi (*Participatory observation, Non-participatory observation, Unstructured interview, Contextual in-depth interview, Shadowing day in life, Usability interview, Story telling, Netnography, Photography and Videography, Subject diaries, Creative focus group, Activity Session*) menurut Maulana (2009), yang terdiri dari dipilih 4 teknik yang dapat diterapkan, yaitu:

1. *Netnography*
   Teknik ini dilakukan dengan tujuan mencari informasi yang berhubungan dengan studi yang dilakukan dari internet. Sumber yang digunakan dapat berupa jurnal, tulisan blog, serta berita-berita yang relevan. *Netnography* dipilih untuk peneliti dapat memperkaya referensi dari internet sebelum melakukan penelitian. Dan dapat dengan segera mencari data tambahan yang dibutuhkan apabila dibutuhkan saat pengamatan dilakukan. Segala data yang diperlukan oleh peneliti sebagai pembanding sebelum melakukan pengamatan dilapangan dilakukan melalui internet.
2. *Non-participatory observation*
   Peneliti/desainer melakukan pengamatan tanpa berpastisipasi dengan obyek. Peneliti mencatat dan mengamati perilaku obyek , sehingga didapatkan costumer needs yang dapat digunakan untuk mendesain produk. *Non-participatory observation* dipilih karena subyek pengamatan masih anak-anak, sehingga ada kemungkinan anak-anak tidak dapat berkegiatan seperti pada kesehariannya. Teknik ini dilakukan dengan melakukan pengamatan secara *incognito,* dengan harapan anak-anak tidak merasa terganggu dengan peneliti, dan dapat bermain sepeda seperti biasanya.
3. *Contextual in-depth interview*
   Teknik ini digunakan untuk menggali permasalahan lebih dalam lagi. Interview yang dilakukan berupa pertanyaan yang diajukan secara terbuka, dan responden berada pada kegiatan sehari-seharinya.*Contextual in-depth interview* digunakan untuk melakukan konfirmasi tentang perilaku anak saat belajar atau bermain sepeda. Teknik ini dilakukan dengan melakukan *unstructured interview* dengan tujuan yang kontektual, yaitu mengenai, kegiatan anak belajar/bermain sepeda.
4. *Photography and Videography*
   Photography and videography merupakan teknik pendokumentasian pengamatan dengan menggunakan kamera. Kedua teknik ini diperlukan sebagai penunjang data *interview* dan pengamatan, sehingga pendokumentasian pengamatan dapat dilakukan dengan lengkap. Apabila dimungkinkan kedua teknik ini dapat membantu peneliti dalam melengkapi data pengamatan dan observasi. Teknik ini dilakukan sebagai penunjang data pengamatan dan observasi.

ISBN 978-602-73461-8-5

3. Hasil dan Pembahasan

Identifikasi kebutuhan *user* dilakukan dengan melakukan pengambilan data pada *user* menggunakan dengan 4 pendekatan *rapid ethnography,* yaitu *netnography, non-participatory observation, contextual in-depth interview,* dengan tambahan *photography & videography* apabila dimungkinkan.

Pendekatan pertama yang dilakukan adalah *netnography,* dengan melakukan pencarian kemungkinan masalah-masalah yang muncul pada desain sepeda anak pada ranah internet. Dengan membaca curahan perasaan mengenai desain sepeda anak, masalah-masalah yang muncul, dan pengalaman barik maupun buruk saat penggunaan sepeda anak yang ditulis dalam media sosial, forum, blogspot, dan hasil diskusi antar penguna yang ada di internet. Tabel 1 berikut adalah beberapa topik permasalahan yang ditemukan.

Tabel 1. Daftar Keluhan dalam *netnography*

No.	Keluhan
1.	Sepeda yang dibeli saat anak berusia 6 tahun dapat digunakan 2-3 tahun kedepan, kemudian sepeda tidak bisa digunakan dengan nyaman. Ketidaknyamanan yang dirasakan berupa, kaki yang terlalu menekuk saat mengayuh sepeda, punggung yang terlalu menunduk karena ketinggian stang sepeda yang terbatas, dan kaki yang menabrak stang sepeda saat hendak berbelok. Sehingga orang tua perlu mengeluarkan biaya lagi untuk membeli sepeda baru, sedangkan sepeda lama masih dalam kondisi yang layak pakai.
2.	Penggunaan roda tambahan (roda belajar) yang tidak membantu anak dalam melatih keseimbangan anak dalam berlatih sepeda.
3.	Bagian-bagian sepeda yang tajam, sehingga anak sering tidak sengaja terluka. Bagian-bagian ini seperti pedal, roda gigi (depan maupun belakang).
4.	Terkadang orangtua membelikan sepeda roda tiga sebagai pilihan sepeda pertama untuk anaknya. Sepeda roda tiga dirasa hanya melatih kemampuan anak dalam *pedalling* dan *handling,* namun tidak kemampuan *balancing* anak.

Tabel keluhan diatas dijadikan acuan dalam melakukan tahap selanjutnya, yaitu *non-participatory observation.* Proses pengamatan diusahakan dilakukan secara *incognito,* sehingga diharapkan dapat memberikan hasil pengamatan yang autentik. Pengamatan dilakukan pada 1 anak dari setiap *range* umur yang sudah ditentukan yaitu 6-12 tahun pada kota Yogyakarta. Pendekatan *non-participatory observation* dilakukan dengan harapan dapat menemukan masalah yang belum ditemukan dalam proses *netnography*. Tabel 2 berikut merupakan daftar masalah yang ditemui.

Tabel 2. Hasil Pengamatan dalam *non-participatory observation*

No.	Hasil Pengamatan
1.	Beberapa sepeda tidak memiliki rem, sehingga anak menggunakan telapak kaki untuk menurunkan kecepatan laju sepeda
2.	Terdapat sepeda yang tidak memiliki *kick stand*. Terdapat berbagai respon dari anak, seperti mencari tembok sebagai sandaran sepeda, meletakkan pedal pada bahu jalan sehingga sepeda dapat berdiri, ada juga anak yang menggeletakan sepeda ke lantai/tanah/aspal begitu saja.
3.	Ada anak yang menggunakan sepeda dengan ukuran yang lebih besar,

ISBN 978-602-73461-8-5

No.	Hasil Pengamatan
	sehingga anak terlihat kesusahan dalam mengayuh pedal, dan membelokkan stang.
4.	Ada anak yang menggunakan sepeda dengan ukuran yang lebih kecil, sehingga kaki anak terlalu menekuk saat mengayuh pedal, dan saat berbelok kaki anak harus lepas dari pedal.
5.	Ada anak yang menggunakan sepeda dengan tambahan roda belajar ataupun sepeda roda tiga.
6.	Terdapat anak yang belajar mengendarai sepeda roda dua, dengan didampingi orang dewasa. Waktu yang digunakan untuk berlatih adalah selama 40 menit, dengan istirahat dalam waktu relatif singkat sebanyak 7 kali.
7.	Orang tua yang mendampingi anak berlatih sepeda terlihat kelelahan karena membungkuk dan berjalan cepat sambil memegangi sadel untuk menjaga keseimbangan sepeda.
8.	Terdapat anak yang sedang belajar mengendarai sepeda terluka pada jari, engkel, dan betis karena kakinya tersandung pedal dan aspal, kemudian hilang keseimbangan kemudian terjatuh.

Hasil observasi kemudian dipastikan kebenaranya dengan dilakukan wawancara dengan pendekatan *contextual in-depth interview*. Dilakukan juga pengecekan ulang apakah *range* umur obyek pengamatan terdapat antar usia 6-12 tahun, apabila tidak sesuai maka tidak dilakukan proses wawancara. Dari hasil wawancara didapati opini dan keluhan baik dari anak dan orang dewasa yang mendampingi. Responden juga diminta untuk mengomentari hasil observasi yang sudah dilakukan. Data dihasilkan dari proses pengamatan dan wawancara dirasa kurang mendalam, karena kurangnya data opini dari orang tua dari responden. Sehingga dilakukan wawancara kepada beberapa orangtua dari anak berumur 6-12 tahun yang memiliki sepeda, tentang hasil penelusuran *netnography* dan *non-participatory observation.* Tabel 3 berikut merupakan atribut spesifikasi produk.

Tabel 3. Atribut Spesifikasi produk

Atribut	Spesifikasi
Ekonomi (bagi *user*)	Durability sepeda yang tinggi
	Sparepart dapat dengan mudah dibeli.
	Sepeda dapat digunakan oleh anak umur 6-12 tahun.
Kenyamanan	Kaki dapat dengan leluasa mengayuh sepeda
	Tinggi sadel dan stang dapat disesuaikan dengan kenyamanan anak
Keamanan	Tidak adanya sudut tajam pada sepeda.
	Adanya *stopper* pada as stang.
	Menggunakan *fixed gear*.
Kostumisasi	Fitur kombinasi antara sepeda anak konvensional dan *balance bike.*
	Fitur personalisasi sepeda sebagai tanda kepemilikan.
	Bagian-bagian pada sepeda dapat dengan mudah disesuaikan, tanpa membutuhkan alat tambahan.

ISBN 978-602-73461-8-5

4. Kesimpulan

Munculnya berbagai keluhan serta masalah dalam penggunaan sepeda pada anak usia 6-12 tahun, merupakan indikator yang jelas bahwa dibutuhkannya desain sepeda yang sesuai dengan keinginan pengguna. Desain sepeda yang *sustainable* akan mengurangi kebiasaan berganti-ganti sepeda pada anak seiring mereka bertumbuh. Atribut spesifikasi produk yang dihasilkan merupakan tuntunan yang dapat digunakan oleh desainer untuk mendesain sepeda yang sesuai dengan keinginan pengguna, baik itu anak-anak maupun orangtua. Dari keempat atribut, atribut ekonomi lebih berdampak pada orangtua sebagai *secondary user.*Sedangkan atribut kenyamanan, keamanan, dan kostumisasi secara langsung berdampak pada anak sebagai *primary user.* Sebagai saran pengembangan lanjutan, maka diperlukan kajian pada *existing product* sejenis yang ada dipasar, dengan atribut seperti fitur, harga, *style,* dan lain-lain.

Daftar Pustaka

Mehta, M., 2013, *Holistic Consideration of Best Practices in Product Design, Quality, and Manufacturing Process Improvement through Design for Value, 120th Annual Conference and Exposition, Paper ID #6927.*

Millen, David R. 2000, *Rapid ethnography: time deepening strategies for HCI field research,* New York.

Lidiawati, S., 2015, Desain Sarana Pengenalan Diversifikasi Makanan pada Anak 3-4 Tahun. Sinta UKDW. Yogyakarta

Clark, G., 2009 *Design for Sustainability: Current Trends in Sustainable Product Design and Development.* Milan : Mdpi Publishing.

Maulana, A. E., 2009, *Consumer Insight via Ethnography*. Esensi, Jakarta.

Spradley, J., 1980. *Participant Observation.* New York: Holt, Rinehart and Winston

Gusti, 2011, *Riset Etnografi Mampu Hasilkan Desain Produk Sesuai Selera Masyarakat,* diakses 13 November 2016. URL : http://ugm.ac.id/index.php?page=rilis&artikel=2591

ISBN 978-602-73461-8-5

Evaluasi Penerapan *Work Improvement for Small Enterprises* (WISE) pada IKM XYZ

Serlita Vidinia Wardani, **Bambang Suhardi, Wakhid Ahmad Jauhari**
Program Studi Sarjana Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36A, Surakarta, Jawa Tengah, 57126
Telp. (0271) 646994
e-mail: serlitavidinia@gmail.com

Intisari

Ergonomi adalah ilmu yang berfokus pada kajian mengenai perancangan sistem kerja yang efektif, nyaman, aman, sehat, dan efisien. Konsep ergonomi tidak dapat dilepaskan dari konsep Kesehatan dan Kesalamatan Kerja (K3) karena keduanya memiliki tujuan yang sama yakni peningkatan kualitas kehidupan kerja. K3 adalah faktor utama yang wajib diterapkan dalam suatu industri. Salah satu tujuan dari penerapan konsep K3 adalah untuk mengurangi risiko kecelakaan kerja. Dalam prakteknya, isu K3 identik dengan Industri Kecil Menengah (IKM) karena keterbatasan pengetahuan maupun motivasi untuk menerapkan K3 pada perancangan sistem kerjanya. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalisir risiko kerja adalah dengan merancang sistem kerja yang disesuaikan dengan kondisi fisik pekerja dan lingkungannya. Terdapat suatu pendekatan yang dapat dijadikan pedoman untuk mengukur penerapan ergonomi sistem kerja dan K3, yaitu Work Improvement in Small Enterprises (WISE). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penerapan kriteria yang terdapat pada standar WISE terhadap proses produksi salah satu IKM kue dan roti yang sedang berkembang pesat di Sukoharjo, yaitu IKM XYZ. Penelitian diawali dengan studi lapangan dan studi literatur yang digunakan untuk merumuskan permasalahan yang terjadi. Penelitian dilanjutkan dengan melakukan proses pemeriksaan kesesuaian setiap elemen yang menjadi syarat pada standar WISE dengan kondisi sistem kerja IKM serta identifikasi elemen yang tergolong proritas perbaikan dengan cara melakukan diskusi bersama pihak IKM XYZ. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 12 elemen yang diusulkan untuk dilakukan tindakan perbaikan, diantaranya terdapat 4 elemen yang tergolong prioritas. Adanya penelitian ini dapat membantu mengurangi risiko kecelakaan kerja pada IKM.

Kata Kunci: Ergonomi, Perancangan sistem kerja, Kesehatan dan Keselamatan Kerja, WISE

1. Pendahuluan

Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2018 mengamanatkan bahwa setiap pengusaha wajib untuk melaksanakan syarat keselamatan dan kesehatan kerja (K3) pada lingkungan kerjanya. Adanya penerapan K3 pada suatu usaha dapat membawa berbagai manfaat, diantaranya dapat menciptakan lingkungan kerja yang aman, sehat, dan nyaman dalam rangka mencegah adanya kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja. *Work Improvement in Small Enterprises* (WISE) merupakan program praktis yang dikembangkan oleh Organisasi Perburuhan Internasional (ILO) dan Kementrian Ketenagakerjaan Republik Indonesia yang membahas mengenai program K3 yang khususnya terjadi pada Industri Kecil dan Menengah (IKM). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Takeyama, et al. (2006), diketahui bahwa penerapan standar WISE

ISBN 978-602-73461-8-5

dapat memberi pengaruh yang positif pada kapasitas kerja dan produktivitas kerja serta dapat menghasilkan kepuasan manajer terhadap proyek perusahaan. Sedangkan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Islami dan Pratiwi (2013), penerapan WISE menekankan pada peningkatan produktivitas dengan menggunakan teknik sederhana, efektif, dan terjangkau, yang memberikan manfaat langsung kepada pemilik dan para pekerja. WISE telah menciptakan dampak besar pada kemajuan sosial dan ekonomi di Filipina. Sejak tahun 1994, proyek WISE telah diimplementasikan di empat wilayah percontohan, yaitu Davao, Cebu, Luzon Selatan, dan Manila dengan bantuan teknis dan keuangan dari *International Labour Organization* dan *United Nations Development Programme* (ILO, 2015).

Objek pada penelitian ini adalah salah satu industri kecil menengah (IKM) yang sedang berkembang pesat di Sukoharjo. yaitu IKM XYZ. Produk yang dihasilkan oleh IKM XYZ meliputi berbagai jenis kue dan roti, yaitu seperti *croissant, cake* marmer, muffin, roti abon, soes cokelat, dan lain sebagainya. IKM XYZ melakukan proses produksi berdasarkan permintaan dari pelanggan (*make-to-order*) dan juga menyediakan produk jadi yang setiap harinya akan disebar ke 2 outlet yang dimiliki (*make-to-stock*). Setiap harinya, IKM dapat menghasilkan sekitar 1500 produk kue dan roti, bahkan mencapai 3000 produk kue dan roti perharinya saat bulan Ramadhan. IKM memiliki 13 orang pekerja produksi, yaitu 4 pekerja di bagian bakery, 4 pekerja di bagian cake, 3 pekerja di bagian gudang, dan 3 pekerja di bagian packing. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara, diketahui bahwa terhitung dari bulan Januari 2018 hingga Juli 2018 terdapat 13 kecelakaan kerja yang terjadi pada IKM XYZ. Contoh kecelakaan yang terjadi diantaranya berupa melepuhnya tangan pekerja akibat tidak menggunakan sarung tangan saat mengambil panganan dari oven serta jatuhnya pekerja akibat saling bertabrakan karena sempitnya ruang produksi dan tidak adanya tanda alur gerak pekerja yang jelas. Hal tersebut menunjukkan bahwa penerapan program K3 pada perancangan sistem kerja IKM XYZ berada dalam kondisi yang kurang baik. Maka dari itu, selain dapat memenuhi tuntutan pemerintah untuk menerapkan program K3 dalam lingkungan kerjanya, adanya evaluasi penerapan standar WISE dapat membantu IKM XYZ dalam memperbaiki perancangan sistem kerjanya sehingga dapat mencegah atau menanggulangi kecelakaan kerja yang terjadi pada aktivitas produksinya.

Di Indonesia, masih sedikit literatur yang membahas mengenai penerapan WISE pada IKM sehingga hasil kajian pada penelitian ini dapat menambah referensi literatur mengenai praktek ergonomi K3 dalam perancangan sistem kerja melalui standar WISE pada suatu IKM. Sedangkan bagi IKM, hasil penelitian ini dapat dijadikan bahan koreksi untuk memperbaiki perancangan sistem kerja serta mencegah atau mengendalikan risiko kecelakaan kerja yang terjadi pada saat pelaksanaan proses produksi.

2. Tinjauan Pustaka

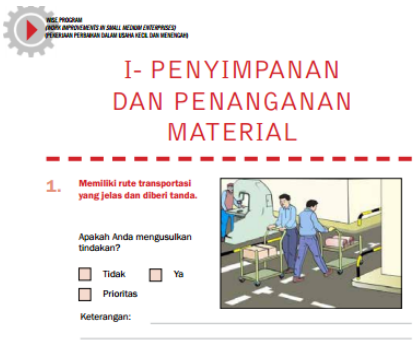
2.1 *Work Improvement in Small Enterprises* (WISE)

WISE merupakan pendekatan yang sangat pragmatis dan berfokus pada intervensi biaya rendah (*low-cost*) yang mampu memperbaiki produktivitas tenaga kerja dan kondisi kerja pada saat yang bersamaan (ILO, 2015). Ruang lingkup pada WISE cukup luas, yaitu termasuk pekerja pada usaha rumah tangga (IRT) dan pekerja pada perusahaan kecil (IKM). Program WISE secara luas diterapkan sebagai dukungan berorientasi aksi (*action-oriented*) yang ddidasari pada dinamika kelompok kerja (Kawakami & Kogi, 2001). Program WISE secara luas diterpakan sebagai Keberhasilan proyek WISE membuktikan relevansinya dengan pendekatan di masyarakat Filipina. Sangat penting bahwa WISE menunjukkan fakta untuk mengisi kesenjangan antara perusahaan besar dan kecil dan membuka paradigma baru dalam pengembangan sosio-ekonomi dan perluasan

ISBN 978-602-73461-8-5

perlindungan dasar bagi sejumlah besar pekerja di Filipina. Mengingat pencapaiannya, tim proyek WISE menerima DOLE KAPWA AWARDS pada tahun 1996. KAPWA sendiri adalah singkatan dari pelayanan yang baik untuk masyarakat. Pada tahun 1997, WISE telah dilembagakan dan dioperasikan di seluruh provinsi Filipina. Dalam rangka Agenda Reformasi Sosial, WISE diharapkan dapat memainkan peran yang lebih mendasar dalam pembangunan sosio-ekonomi negara (ILO, 2015).

Prinsip dari konsep WISE diantaranya adalah membangun praktik lokal, fokus pada pencapaian, menghubungkan kondisi kerja dengan tujuan manajemen lain, menggunakan metode belajar sambil bekerja (*learning-by-doing*), mendorong pertukaran pengalaman, dan mendorong keterlibatan para pekerja (conferido, 1997). WISE terdiri dari 8 elemen pengamatan, yaitu pada penyimpanan dan penanganan material, desain stasiun kerja, keamanan mesin produktif, kontrol dari substansi berbahaya, pencahayaan, fasilitas keamanan, bangunan kerja, dan organisasi kerja. Proses identifikasi penerapan program K3 pada sistem kerja suatu IKM menggunakan standar WISE dilakukan dengan menggunakan bantuan alat ukur berupa daftar periksa yang tertuang dalam dokumen hasil kerjasama Organisasi Perburuhan Internasional (ILO) dan Kementrian Ketenagakerjaan Indonesia tahun 2015. Gambar 1 menunjukkan contoh daftar periksa WISE.



Gambar 1. Contoh daftar periksa WISE

Proses penilaian daftar periksa WISE dapat dilakukan dengan cara memberi tanda '√' pada kotak penilaian yang tersedia. Terdapat 3 ukuran penilaian pada daftar periksa WISE, yaitu 'Ya', 'Tidak', dan 'Prioritas'. Penilaian 'Ya' mengindikasikan bahwa elemen yang diperiksa belum diterapkan pada sistem kerja suatu IKM dan diusulkan untuk dilakukan tindakan perbaikan. Sedangkan penilaian 'Tidak' mengindikasikan bahwa elemen yang diperiksa tersebut telah diterapkan pada sistem kerja IKM atau tidak dibutuhkan untuk diterapkan. Penilaian 'Prioritas' merupakan penilaian tambahan pada ukuran penilaian 'Ya' yang mengindikasikan bahwa elemen yang diperiksa belum diterapkan pada sistem kerja suatu IKM dan merupakan elemen mendesak yang harus segera diperbaiki. Dalam daftar periksa WISE, terdapat pula kolom 'Keterangan' yang disediakan untuk menuliskan saran untuk tindakan perbaikan dari elemen yang diperiksa.

3. Metode

Penelitian ini diawali dengan tahap awal yang meliputi studi lapangan, studi literatur, dan perumusan masalah yang meliputi penerapan K3, perancangan sistem kerja, dan IKM. Kemudian penelitian dilanjutkan dengan tahap evaluasi kondisi eksisting di IKM XYZ yang berpedoman pada standar WISE. Proses evaluasi dilakukan dengan menggunakan bantuan alat ukur berupa daftar periksa WISE yang dikeluarkan oleh Organisasi Perburuhan Internasional (ILO) yang bekerja sama dengan Kementrian Ketenagakerjaan Republik Indonesia pada tahun 2015. Tahap evaluasi terdiri dari proses

ISBN 978-602-73461-8-5

pemeriksaan atau penilaian setiap elemen yang menjadi syarat pada standar WISE. Kemudian penelitian dilanjutkan dengan proses identifikasi elemen yang membutuhkan prioritas perbaikan dengan cara melakukan diskusi bersama pihak IKM XYZ. Berdasarkan keputusan prioritas perbaikan tersebut, dijabarkan usulan perbaikan yang sekiranya mampu menyelesaikan permasalahan pada berbagai elemen prioritas tersebut.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Identifikasi Kondisi Eksisting IKM

Dari hasil pengamatan diketahui bahwa dalam produksi kue dan roti di IKM XYZ terdapat beberapa aspek yang menunjukkan bahwa IKM belum menerapkan program K3 dengan maksimal. Sebagai contoh, para pekerja yang ada di ruang produksi IKM XYZ tidak menggunakan alat pelindung kerja yang lengkap. Para pekerja seringkali mengeluarkan hasil panggangan dari oven tanpa bantuan alat penarik ataupun sarung tangan. Kemudian, hanya terdapat 1 buah ventilasi alami pada ruang produksi IKM XYZ yang menyebabkan ruangan menjadi panas, lembab, dan bau. Tidak jarang pula terdapat pekerja yang mengeluh berkeringat dan mengalami kelelahan kerja pada saat melakukan aktivitas produksi. Kemudian dapat pula dilihat dengan sangat jelas bahwa banyak terdapat hewan kecil yang hinggap diatas tempat sampah IKM karena terjadi penumpukan sampah. Beberapa permasalahan tersebut pun dilengkapi dengan adanya data yang menyebutkan bahwa terhitung dari bulan Januari 2018 hingga Juli 2018 terdapat 13 kecelakaan kerja yang terjadi pada ruang produksi IKM XYZ sehingga cukup membuktikan bahwa IKM XYZ belum menerapkan program K3 dengan baik dalam perancangan sistem kerjanya serta belum mampu memenuhi aturan dari pemerintah mengenai penerapan K3 pada lingkungan kerja. Pada akhirnya, berbagai permasalahan tersebut akan berujung pada terjadinya kecelakaan kerja pada lingkungan produksi IKM XYZ. Selain itu, berbagai permasalahan yang disebutkan di atas, apabila dibiarkan, maka akan menunjukkan tidak adanya etika usaha yang baik karena membiarkan hal-hal buruk terjadi di lingkungan IKM, tidak mematuhi peraturan yang diwajibkan, serta tidak bertanggungjawab menjaga K3 para pekerja.

4.2 Pemeriksaan Elemen Daftar Periksa WISE

Tahap ini merupakan tahap evaluasi yang dilakukan pada ruang produksi IKM XYZ untuk mengetahui tingkat kesesuaian kondisi saat ini dengan 8 kriteria yang ada pada standar WISE. Evaluasi dilakukan dengan cara membandingkan kondisi IKM XYZ dengan berbagai elemen yang ada pada daftar periksa WISE melalui wawancara dan survey lapangan. Tabel 1 menunjukkan hasil evaluasi yang telah dilakukan.

Tabel 1. Hasil evaluasi standar WISE

No	Elemen yang Diperiksa	Mengusulkan Tindakan?	
I	**PENYIMPANAN DAN PENANGANAN MATERIAL**	**Ya**	**Tidak**
1	Memiliki rute transportasi yang jelas dan diberi tanda	v	
2	Membuat permukaan rute transportasi rata, tidak licin, dan tanpa hambatan		v
3	Menyediaan jalur landai daripada membuat tangga ditempat kerja		v
4	Menghindari penempatan material di lantai, dan meletakannya pada tempat penyimpanan khusus	v	
5	Menghemat ruangan dengan menggunakan rak bertingkat atau rak di dekat tempat kerja		v
6	Menggunakan rak penyimpanan yang dapat dipindahkan		v
7	Menggunakan kereta, troli, atau perangkat lain yang menggunakan roda ketika memindahkan material		v

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Elemen yang Diperiksa		Mengusulkan Tindakan?
8	Menyediakan pegangan baik atau titik genggaman ntuk setiap paket dan tempat penyimpanan		v
9	Memindahkan material pada ketinggian kerja menggunakan alat bantu		v
10	Mengurangi penanganan materia secara annual dengan menggunakan alat pemindah, katrol, dan sarana transportasi mekanis lainnya		v
II	**DESAIN TEMPAT KERJA**		
11	Menempatkan material, perkakas, dan kontrol yang sering digunakan di tempat yang mudah dijangkau	v	
12	Menyediakan "rumah" untuk alat-alat	v	
13	Menyesuaikan ketinggian berkerja untuk setiap pekerja di level siku atau sedikit di bawah siku		v
14	Menyediakan kursi dengan sandaran yang dapat disesuaikan untuk pekerja yang bekerja dalam posisi duduk		v
15	Memungkinkan pekerja untuk berdiri dan duduk secara bergantian di tempat kerja sesering mungkin		v
16	Menggunakan penjepit, tang, dan pencepit untuk menahan material		v
17	Menyediakan sandaran tangan ketika menggunakan alat presisi		v
18	Menyediakan tanda, warna atau melampirkan label dengan kata sederhana dalam bahasa lokal untuk membantu para pekerja memahami apa yang harus dilakukan		v
19	Melampirkan label sederhana, dalam bahasa lokal untuk alat kontrol atau tuas		v
20	Membuat kontrol dan tuas darurat terlihat jelas		v
III	**KEAMANAN MESIN PRODUKTIF**		
21	Menggunakan perangkat yang aman untuk memasukan dan mengeluarkan material daru mesin agar tangan menjauh dari bagian-bagian berbahaya dari mesin	v	
22	Menggunakan pelindung dan penghalang yang permanen untuk mencegah kontak langsung dengan bagian mesin yang bergerak	v	
23	Menggunakan hambatan berpaut untuk mencegah pekerja agar tidak sengaja menjangkau titik berbahaya ketika mesin sedang beroperasi		v
24	Memeriksa, membersihkan, dan memeilihara mesin-mesin, termasuk kabel listrik secara teratur		v
IV	**LINGKUNGAN FISIK**		
25	Memaksimalkan penggunaan cahaya matahari dan memberi warna cerah untuk dinding dan langit-langit		v
26	Merelokasi sumber cahaya dan menyediakan lampu lokal untuk pekerjaan persisi atau inspeksi		v
27	Meningkatkan penggunaan ventilasi alami	v	
28	Melindungi tempat kerja dari panas luar yang berlebihan		v
29	Menggunakan udara panas yang bergerak ke atas secara alami		v
30	Menggunakan partisi untuk menghalangi sumber panas, kebisingan, debu, dan bahan kimia		v
31	Memindahkan panas, kebisingan, debu, dan sumber kimia dari area kerja umum		v
32	Menggunakan sistem ventilasi pembuangan lokal untuk panas, debu, dan bahan kimia		v
33	Menempatkan wadah yang terpisah di tempat kerja untuk berbagai jenis limbah	v	
V	**PROTEKSI BAHAYA LISTRIK**		
34	Memastikan penyambungan kabel menggunakan cara dan alat yang aman		v
35	Memastikan penggunaan kotak kontak sesuai dengan kapasitasnya		v
36	Memastikan instalasi, peralatan, dan perlengkapab dipelihara secara berkala dan perbaikan dilakukan oleh teknisi yang kompeten		v
37	Memastikan perlengkapan listrik yang terpasang atau digunakan dalam kondisi tertutup dan aman		v
38	Memastikan sirkuit listrik tertutup, terisolasi, dan menyatu dengan benar		v
39	Memastikan kabel dan panel listrik tertutup dan aman		v
40	Memastikan peralatan listrk yang bertegangan tinggi ditempatkan di tempat yang aman dan diberi rintangan atau pagar pengaman		v
41	Memastikan penggunaan lata pelindungan diri pada pekerjaan listrik telah sesuai		v

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Elemen yang Diperiksa	Mengusulkan Tindakan?	
42	Memastikan terdapat tanda peringatan pada tempat kerja yang memiliki bahaya listrik		v
VI	**PENANGGULANGAN BAHAYA KEBAKARAN**		
43	Memastikan penyimpanan bahan yang mudah terbakar ditempatkan dengan aman	v	
44	Memastikan adanya alat yang dapat digunakan untuk menginformasikan adanya kondisi darurat		v
45	Menyediakan sejumlah alat pemadam kebakaran di dekat area kerja		v
46	Memastikan pekerja mendapatkan pelatihan memadamkan kebakaran		v
47	Memastikan adanya tanda bahaya pencegahan kebakaran		v
48	Memastikan adanya tanda dan jalur evakuasi		v
49	Memastikan adanya prosedur tangga darurat		v
50	Memastikan adanya gladi penanggulangan kebakar atau simulasi dalam menghadapi keadaan darurat kebakaran bagi seluruh pekerja		v
51	Memastikan adanya area berkumpul aman apabila terjadi keadaan darurat kebakaran		v
VII	**FASILITAS KESEJAHTERAAN**		
52	Menyediakan fasilitas minum, area makan, dan kamar kecil untuk memastikan kinerja yang baik dan kesejahteraan para pekerja		v
53	Menyediakan dan memelihara fasilitas berganti pakaian, pencucian dan sanitasi yang baik untuk memastikan kebersihan dan kerapihan pribadi		v
54	Menyediakan perlengkapan pelindung pribadi yang memberikan perlindungan yang memadai	v	
55	Menyediakan peralatan pertolongan pertama (P3K) dan melatih petugas P3K yang memenuhi syarat	v	
56	Menetapkan promosi program kesehatan untuk mencegah penyakit dan untuk memberikan pelayanan kesehatan yang baik		v
VIII	**ORGANISASI PEKERJAAN**		
57	Menyediakan kesempatan untuk dapat sering mengambil istirahat pendek bagi pekerjaan berat yang membutuhkan perhatian terus menerus		v
58	Menetapkan kebijakan K3 dan menyediakan pelatihan keselamatan dan kesehatan kerja yang memadai bagi semua pekerja	v	

Berdasarkan hasil evaluasi yang ditunjukan pada Tabel 1, diketahui bahwa dari 58 elemen tindakan yang diperiksa, ditemukan sebanyak 12 elemen tindakan yang diusulkan untuk adanya perbaikan. Rekapitulasi hasil evaluasi yang terdiri dari daftar elemen tindakan yang diusulkan untuk dilakukan perbaikan yang dilengkapi dengan penjelasan kondisi saat ini serta dokumentasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi elemen yang membutuhkan perbaikan

No	Elemen yang Diperiksa	Kondisi Saat Ini	Gambar
1	Memiliki rute transportasi yang jelas dan diberi tanda	Rute Transportasi dan alur gerak pekerja tidak jelas dan tidak diberi tanda sehingga mobilitas dan aksesbilitas pekerja terganggu. Tidak jarang ditemukan kondisi dimana pekerja saling 'bertabrakan'saat melakukan aktivitas produksi.	

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Elemen yang Diperiksa	Kondisi Saat Ini	Gambar
2	Menghindari penempatan material di lantai, dan meletakannya pada tempat penyimpanan khusus	Berbagai perlatan produksi ditaruh berserakan di lantai ruang produksi sehingga menyebabkan tidak efisiennya proses produksi yang dilakukan.	
3	Menempatkan material, perkakas, dan kontrol yang sering digunakan di tempat yang mudah dijangkau	Barang-barang ditaruh berjauhan sehingga sulit dijangkau (piring, loyang, penggiling, kuas, dan lain sebagainya, ditaruh ditempat berjauhan dan tidak ada *box* untuk setiap alat).	
4	Menyediakan "rumah" untuk alat-alat.	Memiliki hanya 1 buah rak piring untuk menyimpan peralatan produksi. Hal ini berlawanan dengan banyaknya peralatan produksi yang dimiliki IKM. Selain itu, rak piring yang ada tidak digunakan dengan maksimal karena kondisi rak sudah tidak terlalu baik.	
5	Menggunakan perangkat yang aman untuk memasukan dan mengeluarkan material daru mesin agar tangan menjauh dari bagian-bagian berbahaya dari mesin.	Seringkali mengambil hasil olahan pangan dari oven tanpa menggunakan sarung tangan atau bantuan alat penarik. IKM memiliki serbet dan alat penarik bantuan tapi tidak selalu digunakan oleh pekerja.	
6	Menggunakan pelindung dan penghalang yang permanen untuk mencegah kontak langsung dengan bagian mesin yang bergerak	Tidak terdapat penghalang pada mesin yang bergerak (*mixer*).	
7	Meningkatkan penggunaan ventilasi alami	Hanya terdapat satu buah ventilasi alami pada ruang produksi IKM yang menyebabkan kurangnya sirkulasi udara sehingga ruangan menjadi panas, lembab, dan sedikit bau.	

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Elemen yang Diperiksa	Kondisi Saat Ini	Gambar
8	Menempatkan wadah yang terpisah di tempat kerja untuk berbagai jenis limbah	Tidak melakukan pemilahan limbah berdasarkan kategori limbah dan tidak semua tempat sampah ditutup dengan rapat sehingga sangat berpotensi mencemarkan pangan, menimbulkan bau tidak sedap, dan membahayakan kesehatan para pekerja di ruang produksi.	
9	Memastikan penyimpanan bahan yang mudah terbakar ditempatkan dengan aman	Gas elpiji diletakan menempel diantara 2 oven panas tanpa penghalang. Hal ini sangat berbahaya mengingat apabila sedang aktif, oven melepaskan panas yang cukup tinggi ke lingkungan sekitarnya.	
10	Menyediakan perlengkapan pelindung pribadi yang memberikan perlindungan yang memadai	Tidak menyediakan perlangkapan pelindung pribadi yang memadai (tidak ada masker, penutup rambut, sarung tangan, penutup sepatu) sehingga dapat sangat berpotensi membahayakan K3 dari para pekerja.	
11	Menyediakan peralatan pertolongan pertama (P3K) dan melatih petugas P3K yang memenuhi syarat	Peralatan P3K tidak lengkap dan beberapa sudah *expired* sehingga dapat sangat membahayakan apabila sewaktu-waktu terjadi kejadian kecelakaan kerja yang membutuhkan pengobatan segera.	
12	Menetapkan kebijakan K3 dan menyediakan pelatihan keselamatan dan kesehatan kerja yang memadai bagi semua pekerja	Tidak ada pelatihan rutin serta tidak ada prosedur tertulis mengenai kebijakan K3 yang dapat dijadikan pedoman bagi para pekerja dalam melakukan aktivitas produksi.	-

Tabel 2 menunjukkan bahwa setiap elemen yang membutuhkan tindakan perbaikan tersebut memiliki dampak secara langsung pada kondisi K3 di IKM XYZ. Meskipun setiap elemen tindakan tersebut harus diperbaiki, namun sebaiknya pelaksanaannya dilakukan secara perlahan atau satu persatu agar hasilnya lebih efektif. Maka dari itu, setelah dilakukan evaluasi standar WISE pada proses produksi IKM XYZ, maka dilanjutkan dengan proses diskusi (*brainstorming)* untuk mempertimbangkan perihal elemen yang tergolong dalam prioritas perbaikan. Proses pemilihan prioritas tindakan perbaikan dilakukan melalui diskusi untuk kembali meninjau satu persatu elemen tindakan yang butuh perbaikan sehingga proses perbaikan nantinya akan dilakukan dengan lebih maksimal. Proses diskusi ini dilakukan bersama *owner* dan *supervisor* IKM XYZ. Tabel 3 berikut ini menunjukan rekapitulasi hasil dari diskusi yang telah dilakukan.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 3. Rekapitulasi hasil diskusi

Tanggal	20 Juli 2018
Lokasi	IKM XYZ
Peserta	1. Ibu Yuni (pemilik IKM XYZ) 2. Ibu Nunuk (supervisior IKM XYZ) 3. Serlita Vidinia (peneliti)
Tujuan	Mengetahui elemen yang dijadikan prioritas perbaikan berdasarkan hasil pemeriksaan elemen proses produksi IKM XYZ dengan standar WISE.

MEMBAHAS POIN-POIN DISKUSI:
1. Apakah pihak IKM XYZ menyetujui hasil pemeriksaan tersebut?
2. Apakah ada hasil pemeriksaan yang tidak sesuai dengan kondisi yang terjadi pada IKM XYZ?
3. Berdasarkan hasil pemeriksaan tersebut, elemen mana yang tergolong dalam prioritas perbaikan? Mengapa?
4. Apa dampak yang diharapkan oleh pihak IKM XYZ dengan adanya perbaikan pada kriteria yang dijadikan prioritas perbakan tersebut?

HASIL DISKUSI:
1. Pihak IKM sebenarnya sangat menyadari dan mengakui bahwa beberapa ketidaksesuaian yang disebutkan memang terjadi di lingkungan IKM.
2. Menurut IKM, hal yang tergolong dalam prioritas perbaikan diantara 12 elemen yang disebutkan yaitu:
   - Menggunakan perangkat yang aman untuk memasukan dan mengeluarkan material dari mesin agar tangan menjauh dari bagian-bagian berbahaya dari mesin
   - Menempatkan wadah yang terpisah di tempat kerja untuk berbagai jenis limbah
   - Memastikan penyimpanan bahan yang mudah terbakar ditempatkan dengan aman
   - Menyediakan perlengkapan pelindung pribadi yang memberikan perlindungan yang memadai
3. Beberapa elemen di atas dianggap prioritas karena akan membahayakan kesehatan dan keselamatan kerja secara langsung apabila tidak segera dilakukan perbaikan. Selain itu, banyak kejadian repititif yang terjadi akibat beberapa elemen tersebut, yaitu diantaranya ada pekerja yang gatal dan bersin karena terpengaruh binatang yang hinggap pada sampah yang menumpuk diruang produksi dan melepuhnya tangan pekerja karena tidak disiplin dalam menggunakan alat pelindung.
4. Diharapkan dari adanya perbaikan pada beberapa elemen yang dijadikan prioritas, IKM dapat menjaga Kesehatan dan Keselamatan Kerja pada proses produksinya sehingga dapat pula meningkatkan kualitas kerja pada IKM.

Hasil diskusi pada Tabel 3 menunjukkan bahwa terdapat 4 elemen yang dijadikan prioritas perbaikan bagi IKM XYZ. Maka dari itu, berdasarkan evaluasi yang dilakukan dengan menggunakan standar WISE, IKM XYZ melakukan perbaikan untuk mengatasi elemen tindakan perioritas dengan cara sebagai berikut:

a. Menyediakan alat bagi pekerja agar tidak terkena mesin secara langusung serta memberikan penyuluhan kepada para pekerja untuk selalu disiplin menggunakannya.
b. Menyediakan tempat sampah yang tertutup yang terdiri dari tempat sampah organik, non-organik, dan cair. Selain itu, diterapkan disiplin untuk tidak menumpuk sampah lebih dari 3 jam.
c. Meletakan elpiji atau bahan mudah terbakar lainnya tidak terlalu dekat dengan sumber panas dan membuat penghalang diantara elpiji untuk mencegah kontak langsung dengan oven.
d. Menyediakan Alat Pelindung Diri (APD) yang memadai serta memberikan penyuluhan kepada para pekerja untuk selalu disiplin menggunakannya.

Dengan memperbaiki elemen tindakan tersebut, IKM XYZ dapat memperbaiki perancangan sistem kerjanya sehingga secara perlahan dapat mengurangi risiko kerja pada saat melakukan proses produksi.

ISBN 978-602-73461-8-5

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini yaitu berdasarkan hasil evaluasi penerapan K3 pada IKM XYZ menggunakan daftar periksa WISE, diketahui bahwa terdapat 12 elemen yang membutuhkan adanya tindakan perbaikan. Dari 12 elemen yang belum sesuai dengan standar WISE, terdapat 4 elemen yang membutuhkan tindakan mendesak (prioritas), yaitu elemen: menggunakan perangkat yang aman untuk memasukan dan mengeluarkan material dari mesin agar tangan menjauh dari bagian-bagian berbahaya dari mesin; menempatkan wadah yang terpisah di tempat kerja untuk berbagai jenis limbah; memastikan penyimpanan bahan yang mudah terbakar ditempatkan dengan aman; dan menyediakan perlengkapan pelindung pribadi yang memberikan perlindungan yang memadai.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk IKM adalah sebaiknya memberikan perhatian dan melakukan perbaikan pada elemen yang belum sesuai dengan standar WISE serta menerapkan disiplin diri yang berdasarkan pada pentingnya penerapan konsep K3 pada proses produksi IKM untuk mencegah timbulnya risiko kerja.

Daftar Pustaka

Arif, C., 2009, Aspek Ergonomik di Bidang Kedokteran Gigi, Universitas Padjajaran, Bandung.

Conferido, R. D., 1997. Low-cost Solution to Improving Philippine Woking Conditions: is it wise?, *MCB University Press: Environmental Management and Health*, Vol. 8 pp. 171-172.

International Labour Organization, 2015, *Daftar Periksa Pembinaan Peningkatan Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Usaha Kecil dan Menengah dengan Metode Pelatihan Partisipasi Aktif*, Kementrian Ketenagakerjaan Republik Indonesia, Jakarta.

Islami, S. B dan Pratiwi, S. G., 2013, *Tesis: Analisis Penilaian Penerapan Kesehatan dan Keselamatan Kerja pada Industri Kecil dan Menengah dengan Menggunakan Metode WISE.* Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Kawakami, T. and Kogi, K, 2001, Action-oriented Support for Occupational Safety and Healh Pograms in Some Developing Countries in Asia. *Intenational Journal of occupational Safety and Ergonomics* Vol. 7 pp. 421-434.

Takeyama, H., Itani, T., Takanishi, T., Inoue, T., Murata, K., Ebara, T., and Batino, J. M., 2006, A Case Study on Evaluations of Improvements Implemented by WISE Projects in the Philippines. *Industrial Health* Vol. 44 pp. 53-57.

ISBN 978-602-73461-8-5

RO – RISET OPERASI

Departemen Teknik Mesin dan Industri FT UGM
ISBN 978-602-73461-8-5

Business Process Improvement Sebagai Dasar Perbaikan Untuk Memperpendek Waktu Siklus pada *Service Routine Activity*

Akbar Gunawan, Nuraida Wahyuni, Putiri Bhuana Katili, Dhana Alianissa Putri

Jurusan Teknik Industri,Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jln Jend Sudirman Km 3. Cilegon. Banten 424325
E-mail : a68ar@untirta.ac.id

Intisari

Perusahaan dalam menyederhanakan aktivitas atau proses bisnis yang terdapat di perusahaan, dengan memberi jaminan bahwa pelanggan eksternal dan internal dari organisasi akan mendapatkan output yang jauh lebih baik, salah satunya adalah memperpendek waktu siklus dalam suatu operasi. PT XYZ merupakan salah satu perusahaan otomotif besar yang memiliki beberapa bagian, salah satu bagiannya adalah Divisi Lexus Indonesia yang memfokuskan bagiannya pada jenis luxury car. Meminimalkan waktu siklus proses service rutin sehingga diharapkan dapat membantu Lexus Indonesia dalam meningkatkan kualitas pelayanan terhadap para customernya. Dengan metode klasifikasi aktivitas dan waktu standar pengerjaan, analisa diagram fishbone berdasarkan waktu proses terbanyak, efisiensi payment process pada kondisi awal, usulan perbaikan dengan metode streamlining, efisiensi payment process pada kondisi usulan, serta business process mapping usulan pada kegiatan payment. Kegiatan service rutin current memiliki waktu siklus sebanyak 254 menit 10 detik, kegiatan yang membutuhkan waktu proses yang paling lama pada aktivitas service rutin adalah kegiatan payment sebanyak 73 menit. serta meng-upgrade dengan melakukan meeting untuk koordinasi dan evaluasi secara berkala, kegiatan service rutin usulan memiliki waktu siklus sebanyak 232 menit 40 detik.

Kata kunci: Waktu Siklus, Business Process, Service Rutin, Aktivitas

1. Pendahuluan

Dalam menghadapi perkembangan industri otomotif yang semakin kompleks dewasa ini, perusahaan otomotif berupaya untuk meningkatkan kinerjanya terutama pelayanan jasa perawatan. Perusahaan mamandang hal tersebut penting karena saat ini permintaan akan jasa *service* otomotif semakin tinggi dan persaingan antara perusahaan jasa otomotif yang semakin tingi pula (Putri, dkk, 2015). *Service* sering disebut dengan istilah perbaikan (jasa), pengertian dari perbaikan itu sendiri adalah usaha untuk mengembalikan kondisi dan fungsi dari suatu benda atau alat yang rusak akibat pemakaian alat tersebut pada kondisi semula. Dengan kata lain pemeliharaan adalah gabungan dari operasi kendaraan mobil yang bertujuan untuk mendapatkan efesiensi kendaraan yang maksimum dengan kemungkinan kerusakan yang rendah dan waktu perbaikan yang singkat. Menurut Daryanto (2002) dalam, Adiprasetyo (2014), pelayanan jasa perawatan mobil terdiri dari berbagai pekerjaan dan tugas yang harus dilakukan untuk menjaga kegiatan perawatan dengan penanganan mobil berjalan aman dan efisien. Setiap bagian yang terlibat dengan fungsinya masing-masing saling berkomunikasi dengan intensif dalam pekerjaan pelayanan jasa perawatan mobil. Lingkungan kerja untuk pekerjaan pelayanan jasa perawatan mobil biasanya merupakan lingkungan kantor yang bersih dan nyaman. Tempat kerja bervariasi tergantung tempat mereka ditugaskan. Tugas mereka memerlukan kerjasama yang erat antar sesama pekerja pelayanan jasa perawatan mobil di tiap bagian

ISBN 978-602-73461-8-5

yang berbeda-beda fungsinya. Setiap pelanggan selalu mengharapkan agar mendapatkan service yang optimal serta memperoleh pelayanan jasa seperti yang mereka inginkan. Kunci sukses agar pelanggan memilih jasa layanan bengkel adalah dengan memberikan kepuasan kepada konsumen. Melalui pemberian layanan yang cepat sehingga pelanggan tidak perlu menunggu lama dibengkel, keramahan karyawan dalam memberikan layanan kepada pelanggan, membuat pelanggan yang puas dan loyal akan menceritakan kebaikan bengkel kepada orang lain sehingga dapat menambah peningkatan jumlah pelanggan kepada bengkel. Jumlah pelanggan yang besar akan berpengaruh kepada pertumbuhan dan kelangsungan perusahaan yang bergerak dalam bidang penjualan jasa bengkel memiliki peralatan dan persediaan onderdil yang lengkap demi memberi pelayanan yang terbaik bagi pelanggan yang membutuhkan perbaikan pada kendaraannya (Hermanto, 2014).

Menurut Harrisngton (1991) dalam Achmad, dkk (2016) *Business Process Improvement* (BPI) adalah metodologi sistematis yang dirancang untuk membantu perusahaan dalam meningkatkan proses bisnisnya secara signifikan. BPI membuat suatu sistem yang akan membantu perusahaan dalam menyederhanakan aktivitas atau proses bisnis yang terdapat di perusahaan, dengan memberi jaminan bahwa pelanggan eksternal dan internal dari organisasi akan mendapatkan *output* yang jauh lebih baik, salah satunya adalah memperpendek waktu siklus dalam suatu operasi. PT XYZ merupakan salah satu perusahaan otomotif besar yang memiliki beberapa bagian, salah satu bagiannya adalah Divisi Lexus Indonesia yang memfokuskan bagiannya pada jenis *luxury car*. Dengan semangat mengejar kesempurnaan sesuai dengan motto perusahaan yaitu "*pursuit of perfection*", Lexus Indonesia selalu ingin memberikan pelayanan yang maksimal kepada seluruh *customer*, termasuk pelayanan *service routine.* Oleh karena itu, penelitian kali ini bertujuan untuk meminimalkan waktu siklus proses *service* rutin sehingga diharapkan dapat membantu Lexus Indonesia dalam meningkatkan kualitas pelayanan terhadap para *customer*nya.

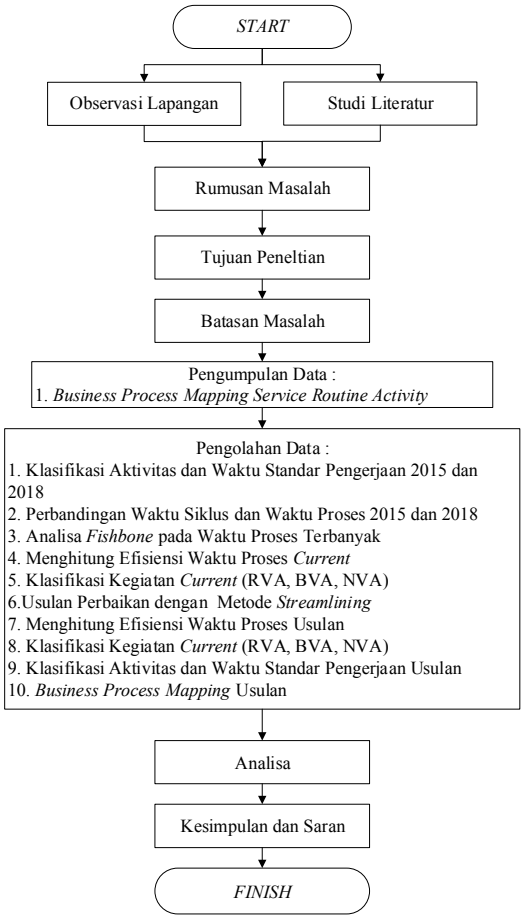
2. Metode

Sistematika penyusunan ini dilakukan untuk memberikan informasi dalam penyusunan dapat tersaji secara sistematis. Masalah yang akan diteliti memiliki dasar penelitian, rumusan, batasan-batasan dan teknis penelitian yang terpaparkan secara jelas supaya tidak terjadi penyimpangan dalam pembahasan. Teori-teori pendukung mengenai *service* kendaraan, pelayanan jasa *service* kendaraan, kualitas, metode kaizen, *business process improvement,* metode *streamlining* serta diagram *fishbone* dari beberapa jurnal dan buku referensi yang berkaitan dengan masalah yang terdapat pada penelitian ini. Data-data yang telah dikumpulkan sesuai dengan data yang menunjang dalam penelitian ini. Meliputi data *business process mapping* pada *service routine activity*. Setelah itu data tersebut diolah menggunakan metode klasifikasi aktivitas dan waktu standar pengerjaan, analisa diagram *fishbone* berdasarkan waktu proses terbanyak, efisiensi *payment process* pada kondisi awal, usulan perbaikan dengan metode *streamlining,* efisiensi *payment process* pada kondisi usulan, serta *business process mapping* usulan pada kegiatan *payment.*

Business process mapping yang terdapat pada aktivitas *service routine*, apa saja faktor – faktor yang dapat menghambat aktivitas *service routine*, serta apa saja usulan perbaikan pada proses *service routine* untuk mengetahui jumlah waktu siklus *current* pada kegiatan *service* rutin. Kegiatan yang membutuhkan waktu yang paling lama pada proses *service routine* untuk menentukan usulan perbaikan pada kegiatan *service* rutin serta mengetahui jumlah waktu siklus usulan pada kegiatan *service* rutin, penelitian dilakukan pada proses *service routine* menggunakan hasil observasi lapangan dan wawancara yang didokumentasikan dalam bentuk kuesioner, analisa dilakukan pada kegiatan yang memiliki nilai tertinggi pada waktu proses, usulan diberikan pada kegiatan yang memiliki nilai

ISBN 978-602-73461-8-5

tertinggi pada waktu proses, penelitian menggunakan metode perhitungan efisiensi waktu proses dan *streamlining.* data akan diolah menggunakan metode klasifikasi aktivitas dan data waktu standar pengerjaan tahun 2015 dan 2018, perbandingan waktu siklus dan waktu proses tahun 2015 dan 2018, analisa diagram *fishbone* berdasarkan waktu proses terbanyak, efisiensi *payment process* pada kondisi awal, klasifikasi kegiatan pada kondisi awal (RVA, BVA, NVA), usulan perbaikan dengan metode *streamlining* (melakukan otomatisasi yang merupakan penerapan peralatan dan computer)*,* efisiensi *payment process* pada kondisi usulan, klasifikasi kegiatan pada kondisi usulan (RVA, BVA, NVA), klasifikasi aktivitas dan waktu standar pengerjaan usulan, serta *business process mapping* usulan pada kegiatan *payment.* Berikut *flowchart* metode



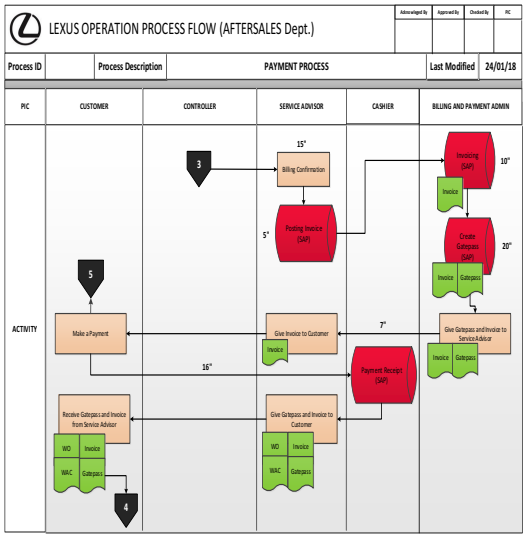
Gambar 1. *Flowchart* pemecahan masalah

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. *Business process mapping service* rutin activity

Data primer merupakan data yang didapatkan secara langsung, dalam hal ini berupa pengamatan atau observasi langsung yang didokumentasikan dalam bentuk *business mapping process* dan kuesioner. Berikut ini merupakan salah satu kegiatan *business mapping process* pada kegiatan *reminder*, yaitu sebagai berikut.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 2. *Business mapping process existing* kegiatan *payment*

Gambar 2 merupakan *business mapping process* pada kegiatan *payment* yang meliputi konfirmasi *parts* dan jasa yang digunakan dalam *service* tersebut, proses pembuatan *invoice* dan *gatepass*, proses transaksi pembayaran, dan proses pemberian dokumen – dokumen terkait *service* kepada *customer*. Dengan demikian kegiatan *payment* memiliki waktu siklus sebesar 73 menit , *business mapping process* pada kegiatan *reminder* yang meliputi kegiatan memeriksa data *customer,* menghubungi *customer* dan mengingatkan sekaligus menanyakan *customer* terkait kegiatan *service* kepada unit *customer* tersebut, kegiatan ini dilakukan setiap tujuh hari sebelum jatuh tanggal *service.* Waktu siklus pada kegiatan *service* rutin sebesar 4 menit 40 detik, *business mapping process* pada kegiatan *booking fee administration* yang meliputi kegiatan memeriksa data *customer,* membuat jadwal *service*, mengkonfirmasi kepada *customer* dan memberikan informasi kepada pihak – pihak internal terkait. Dengan demikian kegiatan *booking fee administration* memiliki waktu siklus sebesar 11 menit, *business mapping process* pada kegiatan *greeting* yang meliputi penerimaan *customer* dan proses memandu parkir, menanyakan kebutuhan *customer,* dan mengantarkan *customer* kepada pihak – pihak yang dituju. Dengan demikian kegiatan *booking fee administration* memiliki waktu siklus sebesar 7 menit 30 detik, *business mapping process* pada kegiatan *reception* yang meliputi penerimaan *customer,* menanyakan kebutuhan *customer,* melakukan prses pemeriksaan kendaraan secara fisik, dan mengantarkan *customer* di ruang tunggu yang telah disediakan. Dengan demikian kegiatan *reception* memiliki waktu siklus sebesar 18 menit, *business mapping process* pada kegiatan *production* yang meliputi penerimaan unit, proses produksi, proses pemeriksaan akhir kendaraan, proses pencucian unit, proses administratif terkait produksi, serta proses pengembalian unit kepada pihak penerima unit. Dengan demikian kegiatan *production* memiliki waktu siklus sebesar 59 menit, *business mapping process* pada kegiatan *delivery* yang meliputi pemeriksaan akhir bersama *customer*, distribusi dokumen untuk kegiatan *follow up,* serta proses penyambutan *customer* hingga keluar gerbang. Dengan demikian kegiatan *delivery* memiliki waktu siklus sebesar 20 menit, *business mapping process* pada kegiatan *3 days follow up* yaitu penerimaan dokumen setelah produksi, pemeriksaan data *customer,* menghubungi *customer* dan memberikan beberapa pertanyaan seputar keadaan unit setelah *service,* lalu selanjutnya terdapat proses penerimaan komplain. Dengan demikian kegiatan *post days follow up* memiliki waktu siklus sebesar 28 menit, *business mapping process* pada kegiatan 30 *Days Follow Up* merupakan kegiatan yang bersifat tentatif dimana hanya dilakukan jika masalah

ISBN 978-602-73461-8-5

yang dialami *customer* setelah *service* tidak teratasi. Kegiatannya berupa penerimaan distribusi data, menghubungi *customer* dan memberikan pertanyaan seputar keadaan unit pasca *service*, kemudian membuat laporan setiap minggunya. Dengan demikian kegiatan 30 *days follow up* memiliki waktu siklus sebesar 33 menit. Klasifikasi aktivitas dan waktu standar pengerjaan yang terdapat pada kegiatan *service* routine pada Lexus Indonesia, yaitu sebagai berikut :

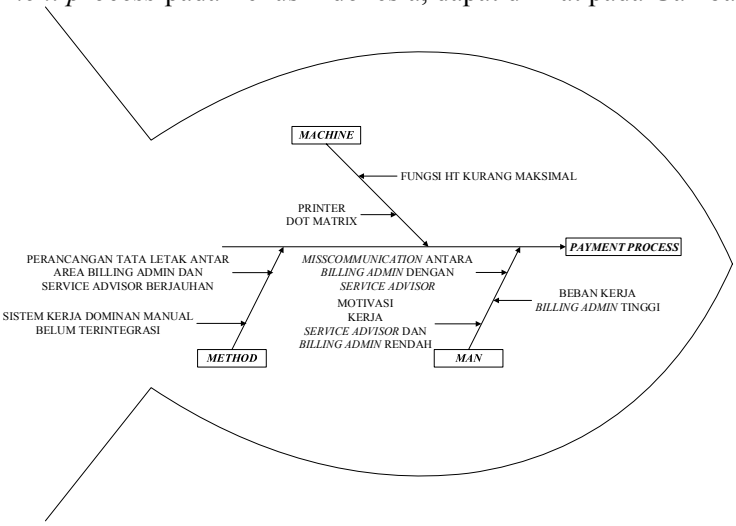
Tabel 1. Klasifikasi aktivitas dan waktu standar pengerjaan

NO	AKTIVITAS	RINCIAN AKTIVITAS	WAKTU PROSES 2015 (MENIT)	WAKTU PROSES 2018 (MENIT)	WAKTU SIKLUS 2015 (MENIT)	WAKTU SIKLUS 2018 (MENIT)
1	*REMINDER ACTIVITY*	Menghubungi *customer* untuk mengingatkan *service* rutin pada kendaraannya	4	4,40		
2	*BOOKING FEE ADMINISTRATION*	Menjadwalkan waktu *service customer*	9	11		
3	*GREETING*	Menyambut kedatangan *customer* ke gallery	6	7,30	**132**	**177,30**
4	*RECEPTION*	Menerima keluhan seputar kendaraan dari *customer*	12	18		
5	*PRODUCTION*	Memperbaiki kendaraan *customer*	45	59		
6	***PAYMENT PROCESS***	**Melakukan transaksi pembayaran atas jasa dan *sparepart* yang telah dilakukan pada kegiatan *service***	**50**	**73**		
7	*DELIVERY PROCESS*	Melakukan serah terima kendaraan yang sudah diperbaiki	10	20		
8	*POST SERVICE FOLLOW UP*	Memastikan kendaraan yang telah di-*service* beberapa hari setelahnya melalui telepon kepada *customer*	25	28		
9	*30 DAYS FOLLOW UP*	Memastikan kendaraan yang masih memiliki keluhan pada *service*-nya untuk ditindak lanjuti setelahnya	30	33		
TOTAL			**191**	**254,10**		

ISBN 978-602-73461-8-5

Berdasarkan klasifikasi aktivitas dan waktu standar pengerjaan diketahui terdapat 9 rangkaian aktivitas pada kegiatan *service rutin*. Dimana terdiri dari kegiatan *reminder activity, booking fee administration, greeting, reception, production, payment process, delivery process, post service follow up* serta 30 *days follow up.* Berdasarkan data waktu *service* rutin tahun 2015 diketahui total waktu proses sebesar 191 menit, dengan total waktu siklus sebesar 132 menit, dengan diketahui waktu proses terbesar terdapat pada kegiatan *payment* yaitu sebesar 50 menit. Berdasarkan data waktu *service* rutin tahun 2018 diketahui terdapat waktu proses sebesar 254 menit 10 detik, dengan total waktu siklus sebesar 177 menit 30 detik, dengan diketahui waktu proses terbesar terdapat pada kegiatan *payment* yaitu sebesar 73 menit. Dengan demikian dapat diketahui terdapat perubahan waktu yang semakin meningkat yang disebabkan oleh waktu proses yang paling tinggi pada tahun 2015 hingga 2018 yaitu pada kegiatan *payment.*

Analisa *fishbone* berdasarkan waktu proses terbanyak pada kegiatan *service rutin* yaitu kegiatan *payment process* pada Lexus Indonesia, dapat dilihat pada Gambar 3:



Gambar 3. Analisa *fishbone* berdasarkan waktu proses terbanyak

Berdasarkan analisa permasalahan yang terdapat pada kegiatan *payment process* dengan menggunakan diagram *fishbone* dapat diketahui pembahasan sebagai berikut :

1. Faktor Manusia

   Man power pada kegiatan *payment process* merupakan salah satu faktor yang menyebabkan waktu siklus yang lama yang terdapat pada proses *service rutin,* dimana terdiri dari komunikasi, beban kerja dan motivasi kerja.

   a. *Miss Communication*

      Komunikasi yang kurang antar *man power* yang beberapa kali menyebabkan terjadinya *miss communication,* hal ini salah satunya disebabkan karena kurangnya koordinasi dan evaluasi antar PIC (*Service Advisor* dan *Billing Admin*).

   b. Beban kerja

      Beban kerja berlebih yang diterima *man power* khususnya pada PIC *billing admin,* hal ini dikarena *man power* yang tersedia hanya satu untuk PIC *billing admin* dimana harus mengerjakan proses *billing* secara keseluruhan se-Indonesia.

   c. Motivasi kerja

      Kurangnya motivasi kerja *man power* dibuktikan dengan kurangnya ketanggapan dan kesigapan *man power* dalam melakukan pekerjaan. *Man power* hanya melakukan pekerjaan yang diampunya sehingga tidak terjadi sistem jemput bola dalam pekerjaan.

ISBN 978-602-73461-8-5

2. Faktor Mesin
   Mesin pada kegiatan *payment process* merupakan salah satu faktor yang menyebabkan waktu siklus yang lama yang terdapat pada proses *service rutin,* dimana terdiri dari fungsi HT dan printer dot matrix.
   a. Fungsi HT
      Terdapat beberapa HT pada setiap area namun penggunaan HT tersebut masih kurang optimal.
   b. Printer
      Printer yang digunakan adalah printer dot matrix yang memakan waktu lama saat pengoperasiannya. Serta terjadi beberapa kali kesalahan saat pengoperasiannya.
3. Faktor Metode
   Metode pada kegiatan *payment process* merupakan salah satu faktor yang menyebabkan waktu siklus yang lama yang terdapat pada proses *service rutin,* dimana faktor metode tersebut adalah factor sistem kerja yang belum terintegrasi dan perancangan tata letak antar area yang kurang efisien.
   a. Sistem Kerja Belum Terintegrasi
      Kegiatan *payment process* memiliki sistem yang belum terintegrasi, terbukti pekerjaan masih dilakukan secara manual. Sistem belum terintegrasi secara otomatis, masih terdapat dokumen yang tidak *paperless*, serta sistem komunikasi dilakukan dalam grup *whatsapp* pribadi.
   b. Perancangan Tata Letak Area Kerja Kurang Efisien
      Perusahaan memiliki tata letak area kerja yang kurang efisien, hal tersebut dibuktikan dengan jarak antar area yang berkaitan terpisah oleh jarak yang cukup jauh. Hal ini menyebabkan terganggunya kegiatan antar area sehingga menyebabkan waktu yang lama.

3.2. Efisiensi *payment process* pada kondisi awal

Berikut ini merupakan perhitungan efisiensi *payment process* pada kondisi awal yang terdapat pada Lexus Indonesia, dapat dilihat pada tabel 2

Tabel 2. Efisiensi *payment process* pada kondisi awal

NO	AKTIVITAS	WS (MENIT)	EFISIENSI (%)	KATEGORI
1	*Service advisor* melakukan kegiatan *billing confirmation* pada *controller* dan *customer*	15	88,23	RVA
2	*Service advisor* melakukan input dokumen *technical complete* melalui sistem SAP	1,30	7,64	BVA
3	*Service advisor* meletakkan dokumen *technical complete* pada *tray* yang telah disediakan (lantai 1)	0,30	1,76	BVA
4	*Service advisor* menghubungi *billing admin* melalui *whatsapp* untuk mengambil dokumen *technical complete* pada *tray* yang telah disediakan (lantai 1)	2	11,76	BVA

Berdasarkan Tabel 3 pada kondisi awal diketahui terdapat 13 rincian aktivitas pada *payment process.* Berdasarkan perhitungan waktu siklus pada *payment process* diketahui rincian kegiatan yang memiliki nilai waktu siklus yang paling tinggi adalah

ISBN 978-602-73461-8-5

terdapat pada aktivitas nomor 9 yaitu *billing admin* mencari *admin head section* atau manajer (tempat kondisional) untuk menanda tangani dokumen *invoice* dengan total waktu siklus sebanyak 17 menit dan efisiensi sebesar 100% serta termasuk kedalam kategori NVA (*Non Value Added)*.

Tabel 3. Efisiensi *Payment Process* Pada Kondisi Awal (Lanjutan)

NO	AKTIVITAS	WS (MENIT)	EFISIENSI (%)	KATEGORI
5	*Billing admin* mengambil secara manual dokumen *technical complete* dari lantai 3 ke lantai 1	3	17,64	BVA
6	*Billing admin* kembali ke meja kerjanya dari lantai 3 ke lantai 1	3	17,64	NVA
7	*Billing admin* melakukan proses *invoicing* dan *gatepass* dengan menggunakan sistem SAP	2	11,76	BVA
8	*Billing admin* mencetak dokumen *invoice* dengan menggunakan printer dot matrix	1,30	7,64	BVA
9	***Billing admin* mencari *admin head section* atau manajer (tempat kondisional) untuk menanda tangani dokumen *invoice***	**17**	**100**	**NVA**
10	*Billing admin* memberikan dokumen *invoice dan gatepass* pada kasir	3	17,64	BVA
11	Kasir menerima dokemen *invoice* dan mempersiapkan alat – alat pembayaran	2	11,76	BVA
12	Kasir mengunjungi meja *service advisor* dari lantai 3 ke lantai 1	7	41,17	BVA
13	Kasir dan *customer* melakukan transaksi pembayaran dan memberikan *gatepass* kepada *customer*	16	94,11	RVA
	TOTAL	**73,3**	**428,82**	

3.3 Usulan Perbaikan dengan Metode *Streamlining*

Berikut ini merupakan usulan perbaikan yang dapat diberikan kepada kegiatan *service rutin* yang terdapat pada Lexus Indonesia dengan menggunakan metode *streamlining*.

Tabel 4. Usulan Perbaikan dengan Metode *Streamlining*

NO AKTIVITAS AWAL		KEGIATAN	*STREAMLINING*	USULAN KEGIATAN
1	3	*Service advisor* meletakkan dokumen *technical complete* pada *tray* yang telah disediakan (lantai 1)	Otomasi dan atau Mekanisasi	*Service advisor* mengunggaah dokumen *technical complete* pada sistem
2	4	*Service advisor* menghubungi *billing admin* melalui *whatsapp* untuk mengambil dokumen *technical complete* pada *tray* yang telah disediakan (lantai 1)	Otomasi dan atau Mekanisasi dengan *Standarization*	Membuat sistem komunikasi yang menghubungkan area *service advisor* dengan area *billing admin* secara otomatis dengan menggunakan HT atau sistem yang terintegrasi

ISBN 978-602-73461-8-5

NO AKTIVITAS AWAL	KEGIATAN	*STREAMLINING*	USULAN KEGIATAN
3	5	*Billing admin* mengambil secara manual dokumen *technical complete* dari lantai 3 ke lantai 1	Otomasi dan atau Mekanisasi, dengan Simplifikasi	Membuat dokumen *technical complete* menjadi *paperless* dengan membuat sistem yang mengintegrasikan dokumen pekerjaan *payment* antara *service advisor* dengan *billing admin,* dengan demikian dapat mengurangi kompleksitas pada kegiatan yang dikerjakan oleh *billing admin*
4	8	*Billing admin* mencetak dokumen *invoice* dengan menggunakan printer dot matrix	Otomasi dan atau Mekanisasi	Mengganti printer dot matrix dengan printer laser jet
5	9	*Billing admin* mencari *admin head section* atau manajer tempat kondisional) untuk menanda tangani dokumen *invoice*	Eliminasi birokrasi	Tidak perlu tanda tangan *admin head section* atau manajer terhadap dokumen *invoice*
6	USULAN	*Service advisor* dan *billing admin* tidak melakukan *meeting* rutin sejak beberapa tahun lamanya	*Upgrading*	Adanya *meeting* untuk koordinasi dan evaluasi bulanan antara *service advisor* dan *billing admin*

(Sumber: Peneliti)

Berdasarkan Tabel 4 dengan metode *streamlining* pada kegiatan *payment* yang terdapat Lexus Indonesia diketahui bahwa terdapat 6 aktivitas yang dapat dilakukan *streamlining*. *Streamlining* yang dapat digunakan pada kegiatan *payment* di antaranya adalah otomasi dana atau mekanisasi, *standardization,* simplifikasi, eliminasi birokrasi serta *upgrading*.

3.4 Efisiensi *payment process* pada kondisi usulan

Berikut ini merupakan perhitungan efisiensi *payment process* pada kondisi usulan yang terdapat pada Lexus Indonesia, yaitu sebagai berikut :

Tabel 5. Efisiensi *Payment Process* pada kondisi usulan

NO	AKTIVITAS	WS (MENIT)	EFISIENSI (%)	KATEGORI
1	*Service advisor* melakukan kegiatan *billing confirmation* pada *controller* dan *customer*	15	93,75	RVA
2	*Service advisor* melakukan input dokumen *technical complete* melalui sistem SAP	1,30	8,125	BVA
3	*Service advisor* mengunggaah dokumen *technical complete* pada sistem	0,30	1,875	BVA

ISBN 978-602-73461-8-5

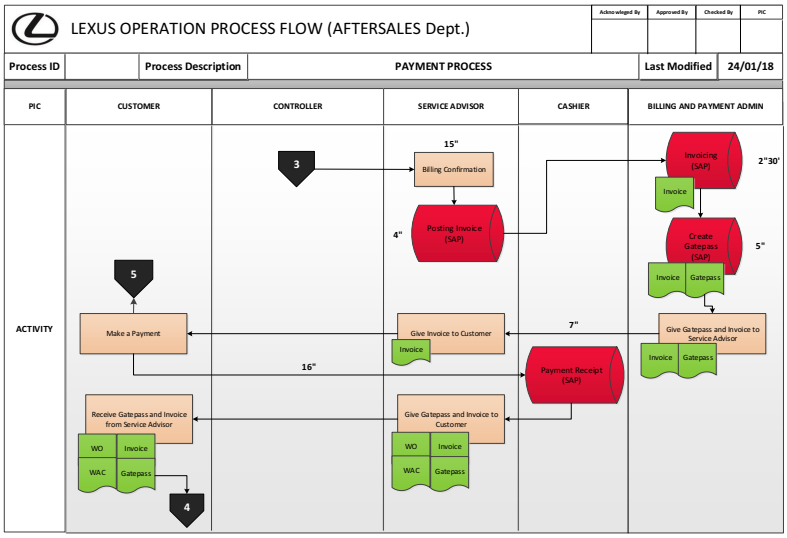
NO	AKTIVITAS	WS (MENIT)	EFISIENSI (%)	KATEGORI
4	Membuat sistem komunikasi yang menghubungkan area *service advisor* dengan area *billing admin* secara otomatis dengan menggunakan HT atau sistem yang terintegrasi	1	6,25	BVA
5	Membuat dokumen *technical complete* menjadi *paperless* dengan membuat sistem yang mengintegrasikan dokumen pekerjaan *payment* antara *service advisor* dengan *billing admin,* dengan demikian dapat mengurangi kompleksitas pada kegiatan yang dikerjakan oleh *billing admin*	1	6,25	BVA
6	*Billing admin* kembali ke meja kerjanya dari lantai 3 ke lantai 1	-	0	-
7	*Billing admin* melakukan proses *invoicing* dan *gatepass* dengan menggunakan sistem SAP	2	12,5	BVA
8	Mengganti printer dot matrix dengan printer laser jet	0,30	1,875	BVA
9	*Billing admin* mencari *admin head section* atau manajer (tempat kondisional) untuk menanda tangani dokumen *invoice*	-	0	-
10	*Billing admin* memberikan dokumen *invoice dan gatepass* pada kasir	3	18,75	BVA
11	Kasir menerima dokumen *invoice* dan mempersiapkan alat – alat pembayaran	2	12,5	BVA
12	Kasir mengunjungi meja *service advisor* dari lantai 3 ke lantai 1	7	43,75	BVA
13	Kasir dan *customer* melakukan transaksi pembayaran dan memberikan *gatepass* kepada *customer*	16	100	RVA
	TOTAL	**51,3**	**305,625**	

Berdasarkan tabel 5 pada kondisi awal diketahui terdapat 13 rincian aktivitas pada *payment process.* Berdasarkan perhitungan waktu siklus pada *payment process* diketahui rincian kegiatan yang memiliki nilai waktu siklus yang paling tinggi adalah terdapat pada aktivitas nomor 13 yaitu kasir dan *customer* melakukan transaksi pembayaran dan memberikan *gatepass* kepada *customer* dengan total waktu siklus sebanyak 16 menit dan efisiensi sebesar 100% dengan kategori RVA (*Real Value Added).*

3.4.1 *Business process mapping* usulan pada kegiatan *payment*

Berikut ini merupakan *business process mapping* usulan yang diberikan pada kegiatan *payment,* yaitu sebagai berikut :

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 3. *Business process mapping* usulan pada kegiatan *payment*

Berdasarkan *business process mapping* usulan yang diberikan pada kegiatan *payment* diketahui pada kegiatannya tidak mengalami perubahan yang siginifikan, namun beberapa perubahan sub-kegiatan dapat dilihat pada Tabel 5. sehingga diketahui waktu siklus berubah menjadi 49 menit 30 detik.

3.4.2 Klasifikasi aktivitas dan waktu standar pengerjaan usulan

Berikut ini merupakan klasifikasi aktivitas dan waktu standar pengerjaan usulan yang terdapat pada kegiatan *service* routine pada Lexus Indonesia. Berdasarkan klasifikasi aktivitas dan waktu standar pengerjaan diketahui terdapat 9 rangkaian aktivitas pada kegiatan *service rutin*. Dimana terdiri dari kegiatan *reminder activity, booking fee administration, greeting, reception, production, payment process, delivery process, post service follow up* serta 30 *days follow up.* Dengan demikian waktu siklus yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan *service* rutin pada keadaan normal untuk satu unit kendaraan adalah sebesar 230 menit 40 detik.

Tabel 6. Klasifikasi aktivitas dan waktu standar pengerjaan usulan

NO	AKTIVITAS	RINCIAN AKTIVITAS	WAKTU PROSES (MENIT)	WAKTU SIKLUS (MENIT)
1	*REMINDER ACTIVITY*	Menghubungi *customer* untuk mengingatkan *service* rutin pada kendaraannya	4,40	
2	*BOOKING FEE ADMINISTRATION*	Menjadwalkan waktu *service customer*	11	
3	*GREETING*	Menyambut kedatangan *customer* ke gallery	7	**155,30**
4	*RECEPTION*	Menerima keluhan seputar kendaraan dari *customer*	18	

ISBN 978-602-73461-8-5

NO	AKTIVITAS	RINCIAN AKTIVITAS	WAKTU PROSES (MENIT)	WAKTU SIKLUS (MENIT)
5	*PRODUCTION*	Memperbaiki kendaraan *customer*	59	
6	***PAYMENT PROCESS***	**Melakukan transaksi pembayaran atas jasa dan *sparepart* yang telah dilakukan pada kegiatan *service***	**51,30**	
7	*DELIVERY PROCESS*	Melakukan serah terima kendaraan yang sudah diperbaiki	20	
8	*POST SERVICE FOLLOW UP*	Memastikan kendaraan yang telah di-*service* beberapa hari setelahnya melalui telepon kepada *customer*	28	
9	*30 DAYS FOLLOW UP*	Memastikan kendaraan yang masih memiliki keluhan pada *service*-nya untuk ditindak lanjuti setelahnya	33	
TOTAL			**230,40**	

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan dapat diketahui kesimpulan untuk menjawab tujuan penelitian yaitu kegiatan *service* rutin *current* memiliki waktu siklus sebanyak 254 menit 10 detik, Kegiatan yang membutuhkan waktu proses yang paling lama pada aktivitas *service* rutin adalah kegiatan *payment* sebanyak 73 menit, usulan yang dapat diberikan berdasarkan metode *streamlining* pada kegiatan *payment* adalah dengan cara mengubah aktivitas meletakkan dokumen *technical complete* pada *tray* yang telah disediakan menjadi mengunggah dokumen *technical complete* pada sistem, standarisasi aktivitas menghubungi melalui *whatsapp* untuk mengambil dokumen *technical complete* menjadi membuat system komunikasi yang terintegrasi atau memaksimalkan fungsi HT, meringkas pengambil dokumen *technical complete* secara manual menjadi membuat dokumen *technical complete* menjadi *paperless* dengan sistem yang terintegrasi, mengubah printer dot matrix menjadi printer laser jet, mengeliminasi birokrasi tanda tangan dokumen *invoice* menjadi tidak ada penanda tanganan dokumen *invoice,* serta meng-*upgrade* dengan melakukan *meeting* untuk koordinasi dan evaluasi secara berkala. Dan Kegiatan *service* rutin usulan memiliki waktu siklus sebanyak 232 menit 40 detik.

ISBN 978-602-73461-8-5

Daftar Pustaka

Achmad, dkk. 2016. "*BUSINESS PROCESS IMPROVEMENT UNTUK PROSES PENJUALAN, PRODUKSI DAN PEMBELIAN DI CV. CAHAYA ABADI TEKNIK"*. Jurusan Teknik Industri. Institut Teknologi Nasional : Bandung

Adiprasetyo, Arko. 2014. "*RANCANG BANGUN APLIKASI PELAYANAN JASA PERAWATAN MOBIL PADA PT TRIKARYA ABADI SEJAHTERA (AUTOFOCUS)"*. Institut Bisnis dan Informatika STIKOM : Surabaya.

Imdam, Irma Agustiningsih dan Dwi Susilo. 2014. "*PENGURANGAN AKTIVITAS PADA PROSES BISNIS UNTUK MEMPERPENDEK LEAD TIME PADA PROSES SERVICE*". Sekolah Tinggi Manajemen Industri : Jakarta

Murnawan, Heri dan Mustofa. 2014. "*PERENCANAAN PRODUKTIVITAS KERJA DARI HASIL EVALUASI PRODUKTIVITAS DENGAN METODE FISHBONE DI PERUSAHAAN PERCETAKAN KEMASAN PT X"*. Prodi Teknik Industri. Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 : Surabaya.

MZ, Hermanto. 2014. "*ANALISIS PENGARUH PELAYANAN JASA SERVICE SEPEDA MOTOR TERHADAP KEPUASAN PELANGGAN PADA BENGKEL ASTRA MOTOR PLAJU PALEMBANG"*. Fakultas Teknik Universitas Tridinanti : Palembang.

Yohanes, Yahya Welim, dkk. 2015. *"PENGEMBANGAN SISTEM INFORMASI SERVICE KENDARAAN PADA BENGKEL KFMP"*. Universitas Budi Luhur .

ISBN 978-602-73461-8-5

Model Optimisasi Lot Produksi dengan Mempertimbangkan Inspeksi Sensus dan Biaya Penalti pada Sistem Produksi *Multistage*

Arie Desrianty, Hendro Prassetiyo, Putri Zsa Zsa Leani Leuser
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional
Jl. PKH Hasan Mustapa 23 Bandung 40124
+62-22-7272215
E-mail: adesrianty@gmail.com

Intisari

Kondisi sistem produksi yang tidak sempurna dapat terjadi karena adanya kesalahan inspeksi/pemeriksaan dan juga deteriorasi mesin. Pada penelitian ini produk yang dihasilkan akan mengalami proses inspeksi secara sensus. Produk yang baik akan langsung diterima sedangkan produk nonconforming akan dilakukan proses rework. Penelitian ini melakukan pengembangan model optimisasi lot produksi dengan mempertimbangkan sistem produksi multistage yang mengalami deteriorasi dengan kriteria minimisasi total ongkos yang terdiri atas ongkos set-up, ongkos produksi, ongkos simpan, ongkos rework, dan biaya penalti. Pemrograman dinamis probabilistic digunakan untuk mengoptimalkan proses pengambilan keputusan.

Kata kunci: multi stage, deteriorasi, inspeksi

1. Pendahuluan

Pada suatu sistem produksi terdapat dua kemungkinan yaitu proses produksi berjalan dengan baik seluruhnya atau proses produksi mengalami kegagalan sehingga tidak sempurna, dalam hal ini kemungkinan terjadinya proses produksi yang tidak sempurna sangat besar dibandingkan dengan proses produksi yang berjalan dengan baik karena dipengaruhi beberapa faktor di dalamnya (Ben Daya dan Rahim, 2003). Produksi yang tidak sempurna *(imperfect)* akan menghasilkan produk yang baik dan produk yang cacat (Rosenblatt dan Lee, 1986). Produk yang cacat dapat terjadi karena adanya kesalahan saat pemeriksan (Ben-Daya dan Rahim, 2003) atau adanya mesin/peralatan yang mengalami deteriorasi (Tseng, 1996). *Deteriorasi* merupakan penuruanan kinerja mesin/peralatan yang dapat menghasilkan produk yang tidak baik, dikarenakan pemakaian mesin/peralatan secara terus menerus atau umur pakai mesin/peralatan yang sudah habis masa pemakaiannya (Ebeling, 1997).

Irawan (2013) telah mengembangkan model untuk menentukan ukuran lot produksi untuk sistem produksi yang tidak sempurna dengan adanya kesalahan inspeksi terhadap produk dan adanya *deteriorasi* mesin/peralatan yang digunakan, sehingga akan mempengaruhi total ongkos yang dikeluarkan. Pada model tersebut inspeksi dilakukan secara keseluruhan (sensus), produk yang ditolak akan dilakukan *rework*, dan diasumsikan semua produk yang dikirimkan ke konsumen adalah produk baik. Sistem produksi yang dibahas dalam Irawan (2013) adalah sistem produksi *single stage*.

Pada kenyataannya banyak industri manufaktur yang menggunakan lebih dari satu *stage* pada proses produksinya dan produk yang dikirimkan kepada konsumen tidak semuanya baik. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model penentuan ukuran lot produksi pada sistem produksi yang memiliki *stage* lebih dari satu dengan inspeksi sensus dan mempertimbangkan biaya penalti yang akan dikeluarkan

ISBN 978-602-73461-8-5

apabila konsumen menerima produk gagal. Formulasi optimisasi menggunakan programa dinamis probabilistik dengan jumlah *run* produksi yang terbatas dengan fungsi tujuan meminimumkan total ongkos.

2. Metode

Sistem produksi yang dibahas pada penelitian ini adalah sistem produksi *multi stage*. Menurut Johnson dan Montgomery (1974) produk yang diproduksi pada dua *stage* menghasilkan satu produk jadi. *Stage* atau departemen pertama memproduksi produk setengah jadi, dan penyimpanan barang tersebut. *Stage* atau departemen kedua merupakan penyelesaian produk setengah jadi menjadi produk jadi, dan penyimpanan produk jadi tersebut, dimana permintaan terhadap barang tersebut tidak dapat ditentukan waktunya.

Langkah-langkah pengembangan model yang dilakukan adalah sebagai berikut:

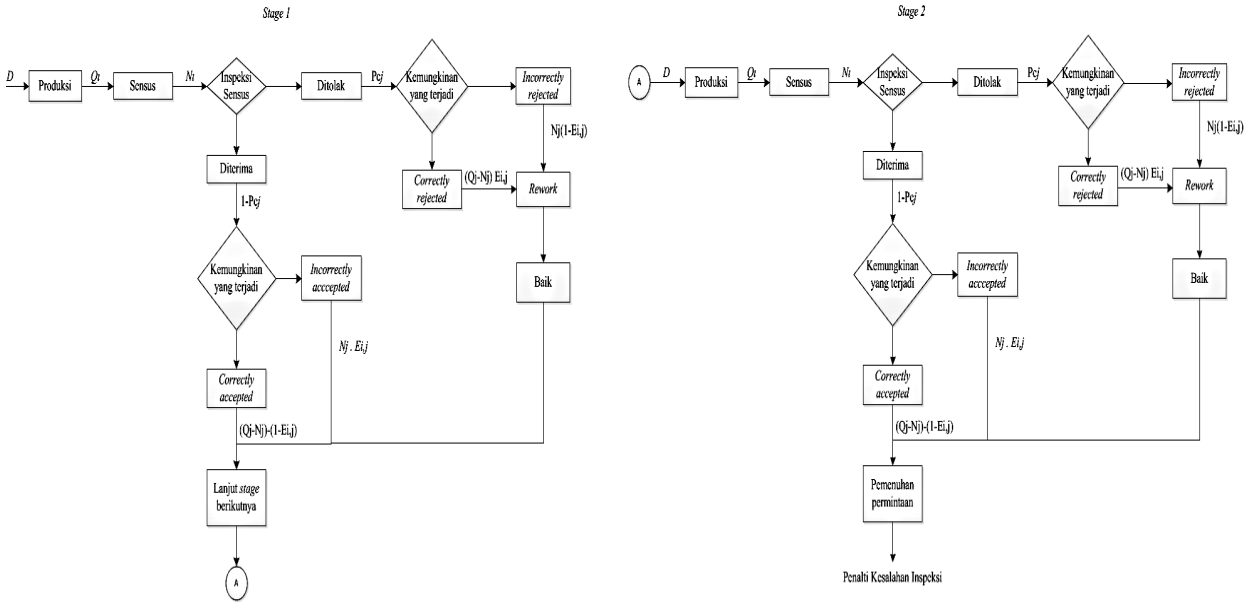
a. Identifikasi model konseptual karakteristik sistem.
   Perumusan karakteristik sistem dilakukan berdasarkan model dasar yang dikembangkan oleh Ben-Daya dan Rahim (2003) serta Irawan (2013).
b. Identifikasi notasi yang diperlukan.
   Identifikasi notasi ditentukan berdasarkan kebutuhan yang diperlukan dalam pengembangan model yang sesuai dengan karakteristik sistem.
c. Penentuan formulasi.
   Mengubah model konseptual menjadi formulasi matematis menggunakan notasi yang sudah ditentukan.
d. Pengujian model.

Pengujian menggunakan tahapan-tahapan pemrograman dinamis probabilistik. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan data hipotetik dengan memperhatikan kriteria minimisasi total ongkos yang digunakan dalam menentukan ukuran lot produksi.

3. Hasil dan Pembahasan

Sistem yang dibahas dalam penelitian ini adalah menentukan ukuran *lot* (Q) produksi pada sistem produksi yang mengalami *deteriorasi* yang terdiri dari dua *stage*. Proses produksi dilakukan untuk memenuhi permintaan konsumen (D) dan dengan keterbatasan mesin yang ada proses produksi dibagi menjadi beberapa *run* produksi. Apabila sampai batas *run* produksi permintaan konsumen belum terpenuhi juga maka akan dikenakan biaya penalti untuk tiap produknya. Produk yang telah dibuat akan melewati tahap inspeksi sensus (N). Hasil dari inspeksi ini masih memungkinkan terjadi kesalahan. Produk yang diterima akan menghasilkan dua kemungkinan dikarenakan kesalahan pemeriksaan, yaitu kemungkinan produk baik diterima (θ_1) dan produk cacat diterima (θ_4), begitupun sebaliknya produk yang ditolak akan menghasilkan dua kemungkinan yaitu produk baik ditolak (θ_2) dan produk cacat ditolak (θ_3). Produk yang ditolak akan melewati proses *rework*. Apabila pada *stage* terakhir teridentifikasi konsumen masih mendapatkan produk cacat, maka akan dikenakan biaya penalti untuk setiap produknya. Karakteristik sistem penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 1. Karakteristik sistem penelitian

Berdasarkan karakteristik sistem tersebut, notasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

U_1 = Ongkos *Set-Up* di *Stage* 1
U_2 = Ongkos *Set-Up* di *Stage* 2
D = *Demand* (*unit*)
Q_j = Ukuran *lot* produksi yang harus dibuat di *run* ke-*j* (unit)
S_j = Permintaan konsumen yang masih harus dipenuhi di setiap *run* ke-*j* (unit)
$1 - Pc_{i,j}$ = Probabilitas produk baik di setiap *stage* ke-*i* dan *run* produksi ke-*j* (%)
$Pc_{i,j}$ = Probabilitas produk cacat di setiap *stage* ke-*i* dan *run* produksi ke-*j* (%)
i = *Stage* produksi, (*i* = 1 atau 2)
j = *Run* produksi, (*j* = 1,2,3, ... , *j*)
a = Laju kenaikan probabilitas gagal (%)
$\theta_{1_{i,j}}$ = Probabilitas kebenaran menerima *conforming item* di *stage* ke-*i* dan *run* ke-*j*
$\theta_{2_{i,j}}$ = Probabilitas kebenaran menolak *non-conforming item* di *stage* ke-*i* dan *run* ke-*j*
$\theta_{3_{i,j}}$ = Probabilitas kebenaran menolak *conforming item* di *stage* ke-*i* dan *run* ke-*j*
$\theta_{4_{i,j}}$ = Probabilitas kebenaran menerima *non-conforming item* di *stage* ke-*i* dan *run* ke-*j*
C_1 = Ongkos Produksi di *stage* 1 (Rp/unit)
C_2 = Ongkos Produksi di *stage* 2 (Rp/unit)
C_3 = Ongkos inspeksi sensus di *stage* 1 (Rp/unit/satuan waktu)
C_4 = Ongkos simpan (Rp/unit/satuan waktu)
C_5 = Ongkos *rework* di *stage* 1 (Rp/unit/satuan waktu)
C_6 = Ongkos inspeksi sensus di *stage* 2 (Rp/unit/satuan waktu)
C_7 = Ongkos *rework* di *stage* 2 (Rp/unit/satuan waktu)
C_8 = Ongkos penalti produk gagal (Rp/unit)
C_9 = Ongkos penalti permintan yang tidak terpenuhi (Rp/unit)
t_1 = Waktu inspeksi sensus di *stage* 1 (satuan waktu/unit)
t_2 = Waktu *rework* untuk produk *correctly rejected* di *stage* 1 (satuan waktu/unit)
t_3 = Waktu *rework* untuk produk *incorrectly rejected* di *stage* 1 (satuan waktu/unit)

ISBN 978-602-73461-8-5

t_4 = Waktu inspeksi sensus *stage* 2 (satuan waktu/unit)
t_5 = Waktu *rework* untuk produk *correctly rejected* di *stage* 2 (satuan waktu/unit)
t_6 = Waktu *rework* untuk produk *incorrectly rejected* di *stage* 2 (satuan waktu/unit)
t_7 = Waktu *rework* untuk produk *incorrectly accepted stage* 1 di *stage* 2 (satuan waktu/unit)
B_1 = Biaya *Set-up* di *stage* 1 (Rp)
B_2 = Biaya *Set-up* di *stage* 2 (Rp)
B_3 = Biaya Produksi di *stage* 1 (Rp)
B_4 = Biaya Produksi di *stage* 2 (Rp)
B_5 = Biaya inspeksi seluruh produk di *stage* 1 (Rp)
B_6 = Biaya inspeksi seluruh produk di *stage* 2 (Rp)
B_7 = Biaya simpan inspeksi sensus di *stage* 1 (Rp)
B_8 = Biaya simpan inspeksi sensus di *stage* 2 (Rp)
B_9 = Biaya *rework* produk *correctly rejected* di *stage* 1 (Rp)
B_{10} = Biaya *rework* produk *correctly rejected* di *stage* 2 (Rp)
B_{11} = Biaya *rework* produk *incorrectly rejected* di *stage* 1 (Rp)
B_{12} = Biaya *rework* produk in*correctly rejected* di *stage* 2 (Rp)
B_{13} = Biaya simpan *rework* produk *correctly rejected* di *stage* 1 (Rp)
B_{14} = Biaya simpan *rework* produk *correctly rejected* di *stage* 2 (Rp)
B_{15} = Biaya simpan *rework* produk *incorrectly rejected* di *stage* 1 (Rp)
B_{16} = Biaya simpan *rework* produk *incorrectly rejected* di *stage* 2 (Rp)
B_{17} = Biaya penalti produk gagal (Rp)

Penelitian ini mempertimbangkan sistem produksi yang prosesnya mengalami penurunan kinerja bahwa pada setiap *run* produksi akan ditemukan probabilitas produk baik dan probabilitas produk gagal. Probabilitas kegagalan produksi pada setiap *run* produksi dimodelkan dengan Pg_j yang terus meningkat di setiap *run* karena dipengaruhi oleh laju kenaikan probabilitas produk gagal (a) dan probabilitas gagal di *run* produksi ke-$j = 0$ (Pg_0). Penentuan probabilitas kegagalan produksi dilakukan berdasarkan model dalam Astria (2006) sebagai berikut:

$$Pg_j = (1+a)^j \; x \; Pg_0 \quad \text{.....(1)}$$

Probabilitas jumlah produk gagal diperoleh dengan menggunakan distribusi binomial dengan rumusan sebagai berikut:

$$b(x;n;p) \quad = Pcj = \binom{n}{x} = p^x.q^{n-x} \quad \text{.....(2)}$$

Biaya-biaya yang dipertimbangkan dalam penelitian ini adalah:

a. Biaya *set-up*, biaya produksi, biaya inspeksi, biaya simpan, dan biaya *rework* yang terjadi pada *stage* 1 dan 2.
b. Biaya penalti produk gagal pada akhir *stage* 2.
c. Ongkos penalti tidak terpenuhinya pesanan sampai dengan akhir *run* produksi.

Berdasarkan biaya-biaya tersebut, persamaan perhitungan total biaya adalah sebagai berikut:

$B_1 = U_1$ .....(3)
$B_2 = U_2$ .....(4)
$B_3 = Q_j \; x \; C_1$ .....(5)
$B_4 = Q_j \; x \; C_2$ .....(6)
$B_5 = Q_j \; x \; t_1 \; x \; C_3$ .....(7)
$B_6 = Q_j \; x \; t_4 \; x \; C_6$ .....(8)
$B_7 = Q_j \; x \; t_1 \; x \; C_4$ .....(9)
$B_8 = Q_j \; x \; t_4 \; x \; C_4$ .....(10)

ISBN 978-602-73461-8-5

$B_9 = Pc_i \times \theta_{3j} \times Q_j \times t_2 \times C_5$.....(11)
$B_{10} = Pc_i \times \theta_{3j} \times Q_j \times t_5 \times C_7$.....(12)
$B_{11} = Pc_i \times \theta_{2j} \times Q_j \times t_3 \times C_5$..... (13)
$B_{12} = (Pc_i \times \theta_{2j} \times Q_j \times t_6 \times C_7) + (Pc_i \times \theta_{41} \times \theta_{2j} \times Q_j \times t_7 \times C_7)$.....(14)
$B_{13} = Pc_i \times \theta_{3j} \times Q_j \times t_2 \times C_4$.....(15)
$B_{14} = Pc_i \times \theta_{3j} \times Q_j \times t_5 \times C_4$.....(16)
$B_{15} = Pc_i \times \theta_{2j} \times Q_j \times t_3 \times C_4$.....(17)
$B_{16} = (Pc_i \times \theta_{2j} \times Q_j \times t_6 \times C_4) + (Pc_i \times \theta_{41} \times \theta_{2j} \times Q_j \times t_7 \times C_4)$.....(18)
$B_{17} = (1 - Pc_{2j})\ \theta_{4,2j} \times C_8$.....(19)

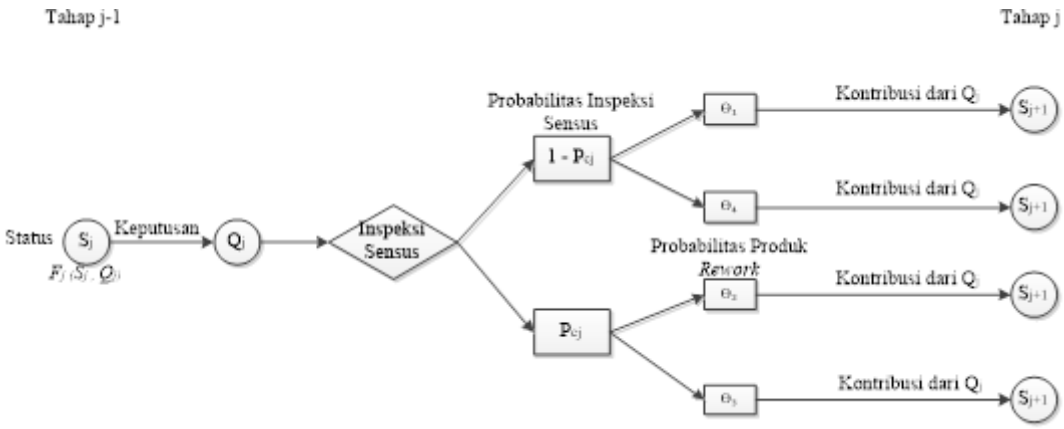
$TC = B_1 + B_3 + B_5 + B_7 + B_9 + B_{11} + B_{13} + B_{15} + B_2 + B_4 + B_6 + B_8 + B_{10} + B_{12} + B_{14} + B_{16} + B_{17}$.....(20)

$$
\begin{aligned}
TC = \Big[\Big(&[U_1] + [\,Q_j \times C_1] + [Q_j \times t_1 \times C_3] + [Q_j \times t_1 \times C_4] \\
&+ \left[Pc_i \times \theta_{3_j} \times Q_j \times t_2 \times C_5\right] + \left[Pc_i \times \theta_{2_j} \times Q_j \times t_3 \times C_5\right] \\
&+ \left[Pc_i \times \theta_{3_j} \times Q_j \times t_2 \times C_4\right] + \left[Pc_i \times \theta_{2_j} \times Q_j \times t_3 \times C_4\right]\Big) \\
&+ \Big([U_2] + [\,Q_j \times C_2] + [Q_j \times t_4 \times C_6] + [Q_j \times t_4 \times C_4] \\
&+ \left[\left(Pc_i \times \theta_{3_j} \times Q_j \times t_5 \times C_7\right)\right] \\
&+ \left[\left(Pc_i \times \theta_{2_j} \times Q_j \times t_6 \times C_7\right) + \left(Pc_i \times \theta_{4_1} \times \theta_{2_j} \times Q_j \times t_7 \times C_7\right)\right] \\
&+ \left[\left(Pc_i \times \theta_{3_j} \times Q_j \times t_5 \times C_4\right) + \right] \\
&+ \left[\left(Pc_i \times \theta_{2_j} \times Q_j \times t_6 \times C_4\right) + \left(Pc_i \times \theta_{4_1} \times \theta_{2_j} \times Q_j \times t_7 \times C_4\right)\right] \\
&+ \left[(1 - P_{c_{2,j}})\ \theta_{4_{2,j}} \times C_8\right]\Big)\Big]
\end{aligned}
$$
.....(21)

Pemograman dinamis probabilistik digunakan untuk mendapatkan ukuran *lot* produksi yang optimal dengan tahapan sebagai berikut:

a. Penentuan tahap (j).
   Pengambilan keputusan ukuran *lot* produksi pada setiap run ke-*j* dinyatakan sebagai tahap pengambilan keputusan dengan j = 1, 2, 3,..., j.
b. Penentuan variabel keputusan (Q_j).
   Variabel keputusan penelitian ini adalah ukuran *lot* produksi pada setiap *run* produksi ke-*j* (Q*j*).
c. Penentuan status (S_j).
   Status S*j* yang terjadi adalah jumlah permintaan yang harus selalu dipenuhi. Pemilihan keputusan di tahap ke-*j* didasarkan atas ukuran performansi biaya yang terjadi dan juga dipengaruhi oleh kondisi produk yaitu produk baik ataupun produk gagal selama dilakukan proses inspeksi dan terjadi kesalahan di *run* ke-*j*. Struktur yang menunjukkan hubungan antara status di tahap *j*, keputusan Q*j,* dan status di tahap *j*-1 dengan menggunakan pemograman dinamis probabilistik dapat dilihat pada Gambar 2.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 2. Struktur pemrograman dinamis probabilistik

d. Persamaan rekursif.
Persamaan rekursif ditentukan dengan memperhitungkan ongkos-ongkos di masa yang akan datang sebagai berikut:

$$f_j(S_j, X_j) = Min \sum_{\propto=1}^{j} TC + f_{j+1}^{*}(S_{j+1}) \quad \text{.....(22)}$$

$$\begin{aligned} f_{j+1}^{*}(S_{j+1}) = \Big\{ & \Big[(\theta_1)\left[(1 - Pc_{i,j0}).f_{j+1} * (S_{j+1}) + \cdots + Pc_{i,jK}.f_{j+1} * (S_{j+1})\right]\Big] \\ & + \Big[(\theta_2)\left[(1 - Pc_{i,j0}).f_{j+1} * (S_{j+1}) + \cdots + Pc_{i,jK}.f_{j+1} * (S_{j+1})\right]\Big] \\ & + \Big[(\theta_3)\left[(Pc_{i,j0}).f_{j+1} * (S_{j+1}) + \cdots + Pc_{i,jK}.f_{j+1} * (S_{j+1})\right]\Big] \\ & + \Big[(\theta_4)\left[(Pc_{i,j0}).f_{j+1} * (S_{j+1}) + \cdots + Pc_{i,jK}.f_{j+1} * (S_{j+1})\right]\Big]\Big\} \end{aligned} \quad \text{.....(23)}$$

$$\begin{aligned} f_j(S_j, Q_j) = Min \sum_{a=1}^{j} \Big[& \Big([U_1] + [Q_j \, x \, C_1] + [Q_j \, x \, t_1 \, x \, C_3] + [Q_j \, x \, t_1 \, x \, C_4] \\ & + \left[Pc_i \, x \, \theta_{3_j} \, x \, Q_j \, x \, t_2 \, x \, C_5\right] + \left[Pc_i \, x \, \theta_{2_j} \, x \, Q_j \, x \, t_3 \, x \, C_5\right] \\ & + \left[Pc_i \, x \, \theta_{3_j} \, x \, Q_j \, x \, t_2 \, x \, C_4\right] + \left[Pc_i \, x \, \theta_{2_j} \, x \, Q_j \, x \, t_3 \, x \, C_4\right]\Big) \\ & + \Big([U_2] + [Q_j \, x \, C_2] + [Q_j \, x \, t_4 \, x \, C_6] + [Q_j \, x \, t_4 \, x \, C_4] \\ & + \left[\left(Pc_i \, x \, \theta_{3_j} \, x \, Q_j \, x \, t_5 \, x \, C_7\right)\right] \\ & + \left[\left(Pc_i \, x \, \theta_{2_j} \, x \, Q_j \, x \, t_6 \, x \, C_7\right) + \left(Pc_i \, x \, \theta_{4_1} \, x \, \theta_{2_j} \, x \, Q_j \, x \, t_7 \, x \, C_7\right)\right] \\ & + \left[\left(Pc_i \, x \, \theta_{3_j} \, x \, Q_j \, x \, t_5 \, x \, C_4\right) + \right] \\ & + \left[\left(Pc_i \, x \, \theta_{2_j} \, x \, Q_j \, x \, t_6 \, x \, C_4\right) + \left(Pc_i \, x \, \theta_{4_1} \, x \, \theta_{2_j} \, x \, Q_j \, x \, t_7 \, x \, C_4\right)\right] \\ & + \left[(1 - P_{c_{2,j}}) \, \theta_{4_{2,j}} \, x \, C_8\right]\Big)\Big] \\ & + \Big\{\Big[(\theta_1)\left[(1 - Pc_{i,j0}).f_{j+1} * (S_{j+1}) + \cdots + Pc_{i,jK}.f_{j+1} * (S_{j+1})\right]\Big] \\ & + \Big[(\theta_2)\left[(1 - Pc_{i,j0}).f_{j+1} * (S_{j+1}) + \cdots + Pc_{i,jK}.f_{j+1} * (S_{j+1})\right]\Big] \\ & + \Big[(\theta_3)\left[(Pc_{i,j0}).f_{j+1} * (S_{j+1}) + \cdots + Pc_{i,jK}.f_{j+1} * (S_{j+1})\right]\Big] \\ & + \Big[(\theta_4)\left[(Pc_{i,j0}).f_{j+1} * (S_{j+1}) + \cdots + Pc_{i,jK}.f_{j+1} * (S_{j+1})\right]\Big]\Big\} \end{aligned} \quad \text{.....(24)}$$

ISBN 978-602-73461-8-5

Pengujian model optimasi penentuan ukuran *lot* ini bertujuan untuk menentukan apakah cara kerja model optimasi ini telah mencapai tujuan yang diinginkan atau tidak. Pengujian model dilakukan untuk kondisi jumlah permintaan lebih besar dari kapasitas produksi (D > K) dengan D = 5 dan K = 2. Nilai-nilai parameter yang digunakan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Parameter Set Data Pengujian

Notasi	Nilai	Notasi	Nilai
U_1	5	Pg_0	15%
U_2	6	t_1	1
D	5	t_2	1
C_1	10	t_3	1
C_2	12	t_4	2
C_3	1	t_5	1
C_4	1	t_6	2
C_5	2	t_7	5
C_6	2	θ_1	0,6
C_7	3	θ_2	0,7
C_8	5	θ_3	0,4
C_9	6	θ_4	0,3
A	20%		

Untuk pengujian set data dilakukan dengan empat langkah pengerjaan sebagai berikut:

a. Langkah pertama adalah menentukan ukuran *lot* produksi yang harus dipenuhi setiap *run* produksi dalam jumlah permintaan tertentu dengan mempertimbangkan hasil inspeksi.
b. Langkah kedua dilakukan penentuan probabilitas kegagalan pada setiap *run* produksi dan hasilnya seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai probabilitas kegagalan setiap *run* produksi

	Probabilitas Kegagalan		
***Run* ke-**	**1**	**2**	**3**
Pgj	0,18	0,22	0,26

Proses inspeksi menghasilkan probabilitas ditemukannya produk baik (1-*Pcj*) dan produk cacat (*Pcj*) seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai probabilitas hasil inspeksi sensus setiap *run* produksi

j	**Jumlah Produksi (Q)**	**Jumlah Produk Cacat**	**Probabilitas Produk Cacat (Pcj)**	**Probabilitas Produk Baik (1 – Pcj)**
1	Q = 1	0	0,820	0,180
		1	0,180	0,820
	Q = 2	0	0,672	0,328
		1	0,295	0,705
		2	0,032	0,968
2	Q = 1	0	0,784	0,216
		1	0,216	0,784
	Q = 2	0	0,615	0,385
		1	0,339	0,661

ISBN 978-602-73461-8-5

j	Jumlah Produksi (Q)	Jumlah Produk Cacat	Probabilitas Produk Cacat (Pcj)	Probabilitas Produk Baik (1 – Pcj)
		2	0,047	0,953
3	Q = 1	0	0,741	0,259
		1	0,259	0,741
	Q = 2	0	0,549	0,451
		1	0,384	0,616
		2	0,067	0,933

c. Langkah ketiga adalah pengujian model menggunakan proses kerja pemrograman dinamis probabilistik yang pengerjaannya dilakukan dengan *backward procedure*. Pada penelitian ini *run* produksi dilakukan sebanyak tiga kali, sehingga pada $j = 4$ jika status yang diperoleh > 0 akan dikenakan ongkos penalti akibat tidak terpenuhinya pesanan pada akhir *run* produksi. Perhitungan selengkapnya adalah sebagai berikut:

$j = 4$

S_4	f_4*
0	0
1	6
2	12
3	18

$j = 3$

S_3 \ Q_3	1	2	f_3^*	Q_3^*
1	57,200	-	57,200	1
2	62,333	103,400	62,333	1
3	67,466	116,509	67,466	1

$j = 2$

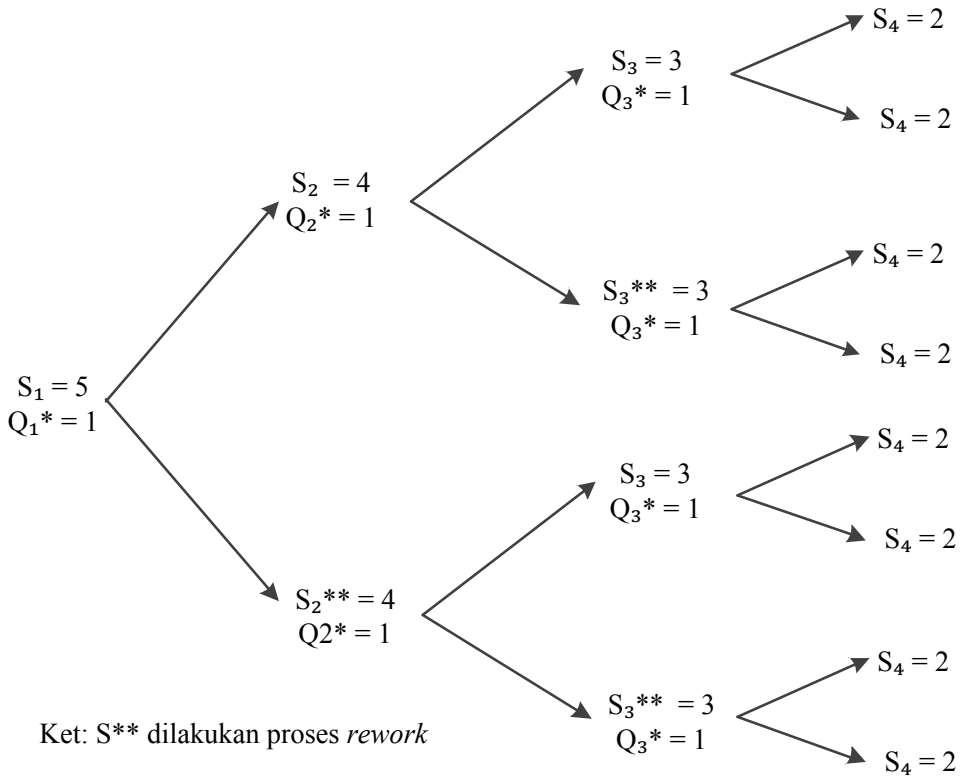
S_2 \ Q_2	1	2	f_2^*	Q_2^*
3	119,533	229,148	119,533	1
4	124,666	140,433	124,666	1

$j = 1$

S_1 \ Q_1	1	2	f_1^*	Q_1^*
5	181,866	367,740	181,866	1

d. Langkah keempat adalah menentukan solusi optimal untuk setiap *run* produksi seperti pada Gambar 3.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 3. Solusi optimal pengujian model

Untuk *run* produksi ke-1 permintaan yang harus diproduksi adalah sebesar 5 (S_1=5) dan kebijakan jumlah produk optimal yang bisa diproduksi adalah sebesar 1 (Q_1*=1). Jumlah produk yang dibuat akan menghasilkan dua kemungkinan yaitu produk diterima (baik) atau produk ditolak (gagal). Jika produk diterima maka pada *run* selanjutnya jumlah permintaan yang harus dipenuhi adalah sebesar 4 (S_2=4) dan jika produk tidak diterima akan mengalami proses *rework*, dimana setelah mengalami proses *rework* produk akan langsung diterima, maka jumlah permintaan yang harus dipenuhi adalah sebesar 4 (S_2**=4). Pada *run* produksi ke-2 permintaan adalah sebesar 4 (S_2=4 atau S_2**=4) dan kebijakan jumlah produk optimal yang diproduksi adalah sebesar 1 (Q_2*=1). Jika produk diterima maka pada *run* selanjutnya permintaan yang harus dipenuhi adalah sebesar 3 (S_3=3) dan jika produk tidak diterima maka produk akan mengalami proses *rework*, dimana setelah mengalami proses *rework* produk akan langsung diterima, maka jumlah permintaan yang harus dipenuhi adalah sebesar 3 (S_3**=3).

Pada *run* produksi ke-3 permintaan adalah sebesar 3 (S_3=3 atau S_3**=3) dan kebijakan jumlah produk optimal yang diproduksi adalah sebesar 1 (Q_3*=1). Jumlah produk yang dibuat sebanyak 1 (Q_3*=1). Jika produk diterima maka pada *run* selanjutnya permintaan yang harus dipenuhi adalah sebesar 2 (S_4=2) dan jika produk tidak diterima maka produk akan mengalami proses *rework*, dimana setelah mengalami proses *rework* produk akan langsung diterima maka jumlah permintaan yang harus dipenuhi adalah sebesar 2 (S_4**=2). Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa dari *run* produksi ke-1 hingga ke-3 permintaan masih belum terpenuhi sehingga perusahaan dikenakan ongkos penalti untuk setiap produk yang tidak dapat terpenuhi.

ISBN 978-602-73461-8-5

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah model yang dihasilkan dari penelitian ini, merupakan model optimasi ukuran *lot* produksi pada sistem produksi *multistage* dengan kriteria inspeksi sensus dan biaya penalti untuk meminimasi total ongkos. Model penelitian ini menggunakan inspeksi sensus pada produk yang telah diproduksi yang dapat menghasilkan akan memungkinkan adanya kejadian ditolak dan diterima akibat adanya kesalahan inspeksi. Berdasarkan hasil pengujian, besarnya *demand* (*D*) terhadap kapasitas produksi (*K*) akan mempengaruhi solusi optimal.

Daftar Pustaka

Astria, Vera, 2006, *Tugas Akhir: Model Optimisasi Penentuan Ukuran Lot Produksi dengan Mempertimbangkan Probabilitas Kegagalan Produksi*, Jurusan Teknik Industri, ITENAS, Bandung.

Ben-Daya, M & Rahim, 2003, Optimal Lot-sizing, Quality Improvement and Inspection, Errors for Multistage Production Systems,*International Journal of Production Research*, Vol. 41 pp. 65-79.

Ebeling, C. E., 1997, *Reliability and Maintenability Engineering*, McGraw-Hill, Inc., Singapore.

Irawan, Dicky, 2013, *Tugas Akhir: Model Optimasi Lot Produksi pada Sistem Produksi yang Mengalami Deteriorasi dengan Kriteria Minimasi Total Ongkos*, Jurusan Teknik Industri, ITENAS, Bandung.

Johnson, Lynwood A & Montgomery, Douglas C., 1974, *Operation Research in Production Planning, Scheduling, and Inventory Control*, hal 258-260.

Rosenblatt, M.J., and Lee, H. L., 1986, Economic Production Improvement and Set up Cost Reduction Processes, *IIE Transactions*, Vol. 18 pp. 48-55.

Tseng, S.T., 1996. Optimal Preventive maintenance Policy for Deterioration Production System. *IIE Transaction*, Vol. 28, p. 687-694.

ISBN 978-602-73461-8-5

Penjadwalan dan Optimasi Biaya Pemeliharaan Mesin Press Manual Menggunakan Metode *Realibility Centered Maintenance* (RCM) II pada PT. CCC

Arief Suwandi, Supriyadi
Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Esa Unggul
Jalan Arjuna Utara No. 9, Tol Tomang Kebun Jeruk Jakarta Barat 11510
Telp. 021. 5674223
E-mail: arief.suwandi@esaunggul.ac.id

Intisari

Salah satu pendukung peningkatan produktivitas suatu perusahaan manufaktur adalah program pemeliharaan (maintenance) fasilitas-fasilitas produksi. Pemeliharaan merupakan suatu proses yang dilakukan untuk menjaga keandalan, ketersediaan, dan sifat mampu rawat peralatan atau mesin. Seringkali ditemukan program pemeliharaan yang dilakukan oleh perusahaan mengabaikan kebutuhan actual dari mesin. PT. CCC adalah salah satu perusahaan yang bergerak di bidang Metal Printing dan Can Making. Produk utamanya adalah kemasan kaleng (can), seperti kemasan kaleng biscuit, kaleng cat, kaleng tinta. Dalam proses produksinya terdapat mesin yang memiliki frekuensi kegagalan fungsi yang cukup tinggi yaitu mesin Press Manual sehingga dibutuhkan analisa perawatan mesin untuk dapat mengurangi kegagalan tersebut. RCM (Reliability Centered Maintenance) II adalah sebuah analisis yang sistematik berdasarkan risk (resiko) untuk mendapatkan metode pemeliharaan yang akurat dan fokus terhadap keandalan mesin. Penentuan lingkup studi, Function Block Diagram (FBD), Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Logic Tree Analysis (LTA) dilakukan pada 24 komponen mesin Press Manual di PT CCC menghasilkan penjadwalan dan kegiatan perawatan Scheduled on Condition Task pada 7 komponen, Scheduled Discard Task pada 4 komponen, Failure Finding pada 3 komponen, No Schedule Maintenance pada 7 komponen serta Combination Task pada 3 komponen. Optimasi biaya terjadi pada perbandingan nilai reliability dan total biaya perawatan sebelum dan sesudah predictive maintenance adalah pada Rolling Key Clutch, reliability naik 0.028 dan total biaya perawatan turun sebesar Rp 10,-/jam, untuk Brake Band, reliability naik 0.388 dan total biaya perawatan turun sebesar Rp 1.051,-/jam dan untuk Rack and Pinion, reliability naik 0.558 dan total biaya perawatan turun sebesar Rp 3.887,-/jam.

Kata Kunci: Reliability Centered Maintenance, FMEA, FBD, LTA

1. Pendahuluan

Produktifitas merupakan salah satu tolak ukur sebuah perusahaan manufaktur dan jasa dalam menilai kinerja perusahaan. Salah satu pendukung peningkatan produktivitas suatu perusahaan adalah kinerja dari mesin-mesin atau fasilitas-fasilitas produksi. Apabila mesin produksi dalam kondisi optimal maka produksi diharapkan selalu terlaksana tanpa ada hambatan pada jalur produksi yang disebabkan karena kegagalan mesin. Untuk selalu menjaga kondisi optimal tersebut maka perusahaaan harus melakukan program pemeliharaan fasilitas-fasilitas produksi. Kegiatan Pemeliharaan merupakan usaha untuk menjaga agar suatu benda/hal dapat terus memberikan nilai fungsi yang optimal selama masa kerjanya (Winandi, 2012).

ISBN 978-602-73461-8-5

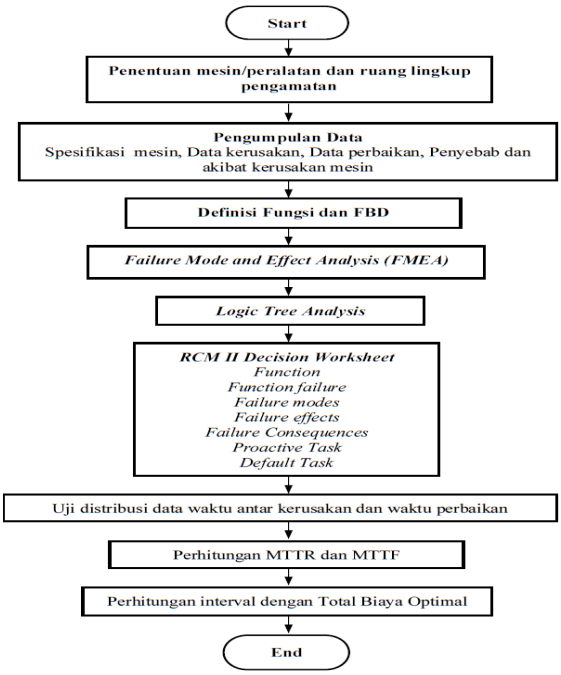
PT. CCC merupakan perusahaan yang bergerak di bidang *Metal Printing* dan *Can Making*. Produk utamanya adalah kemasan kaleng (*can*), seperti kemasan kaleng biscuit, kaleng cat, kaleng tinta. Termasuk kemasan untuk *process foodcan* seperti kaleng sardine, tuna, *crabmeat*, manisan buah. Salah satu hambatan kegiatan produksi adalah terjadi kegagalan fungsi mesin, terutama pada mesin Press Manual. Catatan laporan harian bagian pemeliharaan didapatkan data bahwa dari 88 unit mesin Press Manual yang aktif saat ini, frekuensi kegagalan mesin rata-rata dalam 2 hari terjadi satu kali kegagalan dan rata-rata downtime adalah 40.45 jam per bulan untuk periode tahun 2017. Jika dilakukan perhitungan biaya perbaikan, biaya tenaga kerja dan nilai kerugian yang disebabkan mesin tidak berproduksi, pastilah sangat tinggi.

Jika melihat bagaimana bagian pemeliharan melakukan kegiatan preventive maintenance terhadap mesin Press manual, tindakan yang dilakukan tidak memiliki dasar yang jelas. Hal ini ditambah dengan tidak adanya referensi perawatan dari pembuat mesin. Hal ini menyebabkan perusahaan mengeluarkan biaya kegiatan pemeliharaan pada titik-titik yang sebenarnya tidak perlu, dan biaya perbaikan kerusakan yang tinggi. Oleh karena itu sangat diperlukan sebuah program yang mampu mengukur kinerja peralatan/mesin dan memberikan solusi metoda kegiatan pemeliharaan yang menitikberatkan pada performa kinerja dan keandalan mesin. RCM II adalah salah satu cara terbaik yang diketahui dan metoda yang paling sering digunakan untuk mempertahankan efisiensi operasional dari sebuah sistem atau mesin (Afefy, 2010). Reliability Centered Maintenance (RCM) II merupakan landasan dasar untuk perawatan fisik dan suatu teknik yang dipakai untuk mengembangkan perawatan pencegahan (preventive maintenance) yang terjadwal. Perencanaan tindakan pemeliharaan juga mempertimbangkan biaya (*cost*) yang dikeluarkan. Biaya disini adalah biaya tindakan perawatan, biaya *downtime*, termasuk juga biaya konsekuensi apabila terjadi kegagalan fungsi pada mesin produksi. Sehingga pada akhirnya akan didapatkan interval perawatan komponen yang optimal.

2. Metode

Tahapan Penelitian ditunjukkan degan urutan langkah yang dilakukan dengan beberapa tahap yaitu tahap pengumpulan data-data permesinan, kegagalan dan kerusakan mesin, perbaikan mesin, uji distribusi kerusakan, perhitungan MTTF dan MTTR, serta mencari interval perawatan dengan biaya yang paling optimal. Hasil penelitian ini diharapkan mendapatkan strategi perawatan mesin yang efektif dan efisien. Penelitian dilakukan pada bagian produksi can making, khususnya kelompok mesin Press Manual.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 1. Alur penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengumpulan data

Terdapat 88 unit mesin Press manual yang dikelompokkan menjadi 3 kelompok berdasarkan nominal tekanan (pressure) yaitu kelompok 25 ton, 40 ton dan 63 ton. Hasil Pengumpulan data diketahui pada setiap subsistem mesin press manual terdapat komponen-komponen yang membentuk subsistem tersebut sehingga fungsi masing-masing komponen menghasilkan fungsi subsistem.

Tabel 1. Komponen subsistem press manual

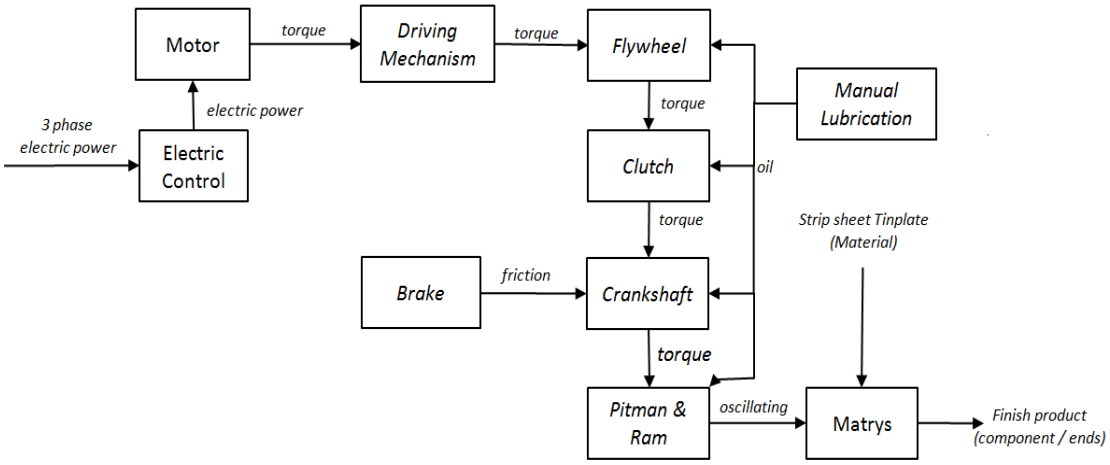
No.	Unit Sistem	Komponen	
1	Ram dan Pitman	- *Top and bottom half bush*	- *Adjusting screw*
		- *Ball seat*	- *Safety disc*
		- *Sliding ram*	- *Ejector Plate*
		- *Bracket Ejector*	
2	*Clutch*	- *Rolling Key clutch*	- *Clutch Spring*
		- *Clutch Sleeve*	
3	*Control Mechanism*	- *Rack and Pinion*	- *Shaft Cam*
		- *Pin Cam*	
4	*Brake*	- *Brake Band*	- *Brake Wheel*
5	*Driving Mechanism*	- *V-belt*	- *Flywheel*
		- *Inside Bush*	- *Outside Bush*
6	*Electrical parts*	- *3 phase Induction Motor*	- *Push Button*
		- *Electrical Contactor*	
7	*Manual Oil pump*	- *Seal Pump*	- *Pump Tube*

Sumber : Data Perusahaan

3.2. Function Block Diagram (FBD)

FBD berfungsi menunjukkan hubungan dari masing-masing fungsi aset untuk mempermudah fungsi saat melakukan analisis dengan menggunakan RCM, dan menjelaskan hubungan dan aliran kerja antar fungsi yang membentuk suatu sistem dan batasan yang dimiliki sistem tersebut.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 2. *Function Block Diagram Press Manual*

3.3. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Semua komponen terpilih dilakukan analisa terhadap fungsi komponen, modus kegagalan komponen, penyebab kegagalan dan akibat dari kegagalan. Analysis FMEA memberikan nilai *Severity (S), Occurrence (O)*, dan *Detection (D)* pada setiap kegagalan (skala 1 – 10). Dari ketiga nilai tersebut kemudian didapatkan nilai RPN (*Risk Priority Number*) yang merupakan perkalian dari nilai S, O dan D. Nilai RPN kemudian diberikan nomor ranking dari tertinggi ke rendah untuk satu unit mesin Press Manual.

Tabel 2. Lembar kerja FMEA mesin press manual No. 1 (PM 01)

RCM INFORMATION WORKSHEET (FMEA)	SYSTEM	**PRESS MANUAL**	Facilitator :	Date:	Sheet No.
	SUB SYSTEM	**RAM AND PITMAN**	Auditor:	Date:	

FUNCTION	FUNCTIONAL FAILURE *(Loss of functions)*	FAILURE MODE *(Cause of failure)*	FAILURE EFFECT	SEV	OCC	DET	RPN	RANK
1 Tempat *die* / matrys atas. Ram bergerak naik turun *(reciprocating)* sebagai hasil konversi gerak putar menjadi *reciprocating*. Ram inilah yang melakukan proses press pada matrys	A Gerakan Oscillating tidak stabil seingga hasil press tidak presisi, kondisi matrys tidak bermasalah	1 ***Top Bottom half bush***, Putaran *crankshaft* di dalam bush tidak center (oblak). Kondisi *bush* sudah aus/kemakan dan tidak center.	Putaran *crankshaft* di dalam bush tidak center (oblak) mengakibatkan hasil press tidak stabil atau bervariasi tetapi masih masuk dalam standar spesifikasi.	4	1	5	20	21
		2 ***Adjusting Screw***, Tekanan yang besar secara terus menerus pada proses press (produksi) membuat bagian berbentuk bulat menjadi aus, bentuk tidak center lagi (lonjong)	Stroke ram oblak pada bagian bawah yang berbentuk bulat akan mengakibatkan hasil press tidak stabil atau bervariasi tetapi masih masuk dalam standar spesifikasi.	4	1	8	32	16
		3 ***Ball Seat***, pecah atau bentuk cekungan tidak bulat lagi (aus) karena tekanan yang besar secara terus menerus pada proses press.	Stroke ram oblak menyebabkan tekanan saat press tidak stabil sehingga hasil press bervariasi sampai diluar standar spesifikasi, produksi harus dihentikan.	7	1	8	56	10

3.4. Logic Tree Analysis

Hasil analisa yang dituangkan dalam Lembar Kerja FMEA menjadi dasar untuk LTA. Dalam *Logic Tree Analysis* (LTA), modus kegagalan dapat digolongkan ke dalam empat kategori :

a. Kategori A, jika modus kegagalan memiliki konsekuensi keselamatan (safety) terhadap terhadap personel maupun lingkungan
b. Kategori B, jika modus kegagalan memiliki konsekuensi terhadap kegiatan operasional lantai produksi baik dalam segi kualitas maupun kuantitas produk yang dapat menyebabkan kerugian ekonomi secara signifikan.

ISBN 978-602-73461-8-5

c. Kategori C, jika modus kegagalan tidak berdampak pada tingkat keselamatan maupun kegiatan operasional dan hanya menyebabkan kerugian ekonomi yang relatif kecil untuk perbaikan.
d. Kategori D, jika modus kegagalan tergolong pada kegagalan tersembunyi (*hidden failure*) yang kemudian dikelompokkan lagi dalam kategori D/A, D/B, dan kategori D/C.

Tabel 3. Lembar kerja LTA mesin press manual

RCM INFORMATION WORKSHEET (LTA)		SYSTEM		PRESS MANUAL	Facilitator :	Date:	Sheet No.
		SUB SYSTEM		RAM AND PITMAN	Auditor:	Date:	

FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE (Loss of functions)		FAILURE MODE (Cause of failure)		CRITICAL ANALYSIS			
						Evident	Safety	Outage	Category
1	Tempat *die* / matrys atas. Ram bergerak naik turun *(reciprocating)* sebagai hasil konversi gerak putar menjadi *reciprocating*. Ram inilah yang melakukan proses press pada matrys	A	Gerakan *Oscillating* tidak stabil sehingga hasil press tidak presisi, kondisi matrys tidak bermasalah	1	*Top bottom half bush*, Kondisi *bush* sudah aus/kemakan dan tidak center.	*No*	*No*	*Yes*	D/B
				2	*Adjusting Screw*, bagian berbentuk bulat menjadi aus, bentuk tidak center lagi (lonjong)	*Yes*	*No*	*No*	C
				3	*Ball Seat*, pecah atau bentuk cekungan tidak bulat lagi (aus)	*Yes*	*No*	*Yes*	B
				4	*Safety disc*, pecah	*Yes*	*No*	*Yes*	B
				5	*Sliding ram guideways*, aus	*No*	*No*	*Yes*	
		B	Finish produk menempel pada matrys atas	1	*Ejector plate*, kondisi abnormal patah atau bengkok karena kesalahan seting operator.	*Yes*	*No*	*Yes*	B
				2	*Bracket ejector plate* patah atau oblak karena tekanan balik yang besar dari ejector	*Yes*	*No*	*Yes*	B

3.5. RCM II *Decision Worksheet*

Berdasarkan Lembar Kerja FMEA dan LTA dilanjutkan dengan analisa kategori tugas perawatan yang disesuaikan dengan diagram keputusan RCM II. Kemudian dari keseluruhan analisa dituangkan dalam Lembar Kerja RCM yang akan menjadi usulan penjadwalan dan tugas perawatan pada 24 kompnen mesin press manual.

Tabel 4. Lembar kerja kategori tugas mesin press manual

RCM INFORMATION WORKSHEET		SYSTEM		PRESS MANUAL	Facilitator :	Date:	Sheet No.
		SUB SYSTEM		RAM AND PITMAN	Auditor:	Date:	

FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE (Loss of functions)		FAILURE MODE (Cause of failure)		LIFE TIME RELATION	PREVENTIVE TASK
1	Tempat *die* / matrys atas. Ram bergerak naik turun *(reciprocating)* sebagai hasil konversi gerak putar menjadi *reciprocating*. Ram inilah yang melakukan proses press pada matrys	A	Gerakan *Oscillating* tidak stabil sehingga hasil press tidak presisi, kondisi matrys tidak bermasalah	1	*Top bottom half bush*, Kondisi *bush* sudah aus/kemakan dan tidak center.	*Hidden*	*Failure Finding Task*
				2	*Adjusting Screw*, bagian berbentuk bulat menjadi aus, bentuk tidak center lagi (lonjong)	*Hidden*	*No Scheduled Maitenance*
				3	*Ball Seat*, pecah atau bentuk cekungan tidak bulat lagi (aus)	*Hidden*	*No Scheduled Maitenance*
				4	*Safety disc*, pecah	*Yes*	*Scheduled Discard Task*
				5	*Sliding ram guideways*, aus	*Yes*	*Scheduled On Condition Task*
		B	Finish produk menempel pada matrys atas	1	*Ejector plate*, kondisi abnormal patah atau bengkok karena kesalahan seting operator.	*Yes*	*Scheduled On Condition Task*
				2	*Bracket ejector plate* patah atau oblak karena tekanan balik yang besar dari ejector	*Yes*	*Scheduled On Condition Task*

Tabel 5. Lembar kerja RCM mesin press manual

RCM INFORMATION WORKSHEET		SYSTEM		PRESS MANUAL	Facilitator :	Date:	Sheet No.
		SUB SYSTEM		CLUTCH	Auditor:	Date:	

FMEA			LTA			PREVEN.		DEFAULT			PROPOSED TASK	INITIAL INTERVAL			PIC
F	FF	FM	H	S	E O	H1 S1 O1 N1	H2 H3 S2 S3 O2 O3 N2 N3	H4	H5	S4		25 Ton	40 Ton	63 Ton	
1	A	1	N	N	N Y	N	N N	Y			Pengecekan top bottom half bush apakah sudah terjadi keausan (oblak)	1 thn	1 thn	1 thn	MTC
		2	Y	N	N N	N	N N				Tidak ada kegiatan perawatan dan perbaikan yang terjadwal	-	-	-	MTC
		3	Y	N	N Y	N	N N				Tidak ada kegiatan perawatan dan perbaikan yang terjadwal	-	-	-	MTC
		4	Y	N	N Y	N	N Y				Penggantian komponen safety disc secara berkala	1 thn	1 thn	1 thn	MTC
		5	N	N	N Y	Y					Pengecekan secara berkala terhadap sliding ram dengan guide way , apakah sudah terjadi keausan (oblak), gap diatas 0.7 mm dikategorikan aus	2 bln	2 bln	2 bln	MTC
	B	1	Y	N	N Y	Y					Pengecekan secara berkala terhadap ejector plate apakah kondisi masih lurus atau melengkung, jika melengkung dikategorikan kegagalan akan terjadi	2 bln	2 bln	2 bln	MTC
		2	N	N	N Y	Y					Pengecekan secara berkala terhadap bracket ejector plate apakah terlihat keretakan, jika ada keretakan dikategorikan kegagalan akan terjadi.	2 bln	2 bln	1 bln	MTC

ISBN 978-602-73461-8-5

3.6. Uji distribusi interval kerusakan dan waktu perbaikan

Dari Lembar Kerja FMEA diambil komponen dengan nilai RPN tertinggi pada masing-masing kelompok mesin. Dari kelompok Press Manual 25 ton, nilai RPN tertinggi adalah komponen *Rolling Key Clutch* pada mesin PM 70 yaitu 384. Untuk kelompok Press Manual 40 ton, nilai tertinggi adalah *Brake Band* pada mesin PM 4 yaitu 288, sedangkan untuk kelompok 63 ton adalah komponen *Rack Pinion* pada mesin PM 31 yaitu 216.

Data-data interval kerusakan dan waktu perbaikan pada mesin Press Manual dari histori mesin yang sudah diperoleh dilakukan pengujian kecenderungan distribusi dari data tersebut. Pengujian ini dapat dilakukan dengan cara manual yaitu menggunakan Least Square Curve Fitting, mencari nilai 'r' korelasi terbesar terhadap 4 distribusi yang diuji yaitu distribusi normal. Lognormal, Eksponensial dan Weibull.

Tabel 6. Waktu perbaikan mesin *press* manual

No.	***Rolling Key Clutch*** **PM 70 (menit)**	***Brake Band*** **PM 4 (menit)**	***Rack Pinion*** **PM 31 (menit)**	No.	***Rolling Key Clutch*** **PM 70 (menit)**	***Brake Band*** **PM 4 (menit)**	***Rack Pinion*** **PM 31 (menit)**
1	180	120	240	13	255	105	-
2	165	90	225	14	270	-	-
3	195	65	285	15	195	-	-
4	225	100	270	16	135	-	-
5	120	75	255	17	240	-	-
6	180	125	240	18	210	-	-
7	330	135	-	19	255	-	-
8	180	140	-	20	240	-	-
9	195	110	-	21	150	-	-
10	195	60	-	22	165	-	-
11	240	100	-	23	315	-	-
12	180	120	-	24	240	-	-

3.7. Perhitungan MTTF dan MTTR

Dari hasil pengujian distribusi dari data kerusakan Rolloing Key Clutch tersebut mengikuti pola distribusi Lognormal, sehingga perhitungan MTTF komponen *Rolling Key Clutch* menggunakan data distribusi Lognormal pada tabel 4.16.

$$\mu = \Sigma \ln(ti) / N \quad \ldots\ldots (1)$$

$$t_{med} = e^{\mu} \quad \ldots\ldots (2)$$

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma\ (\ln(ti) - \mu)^2}{n}} \quad \ldots\ldots (3)$$

$$MTTF = t_{med} \exp(s^2/2) \quad \ldots\ldots (4)$$

Berdasarkan perhitungan dapat disimpulkan bahwa komponen *Rolling Key Clutch* pada mesin PM70 memiliki nilai MTTF sebesar 49.959 hari. Hal ini berarti *Rolling Key Clutch* akan berada pada failure state atau kondisi rusak setelah 49.959 hari pemakaian.

Rekapitulasi untuk nilai MTTF dan MTTR dari komponen terpilih pada mesin Press Manual dapat dilihat pada tabel 7.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 7. Rekapitulasi nilai MTTF dan MTTR mesin Press Manual

Komponen Mesin	Data	Distribusi	Paramater		MTTF (hari)	MTTR (menit)
Rolling Key Clth. PM 70	Kerusakan	Lognormal	t_{med}	s	49.959	-
			22.021	1.280		
	Perbaikan	Lognormal	t_{med}	s	-	210.718
			204.588	0.243		
Brake Band PM 04	Kerusakan	Normal	μ	σ	83.50	-
			83.50	36.61		
	Perbaikan	Weibull	β	θ	-	103.494
			4.162	113.916		
Rack and Pinion PM 31	Kerusakan	Lognormal	t_{med}	s	146.239	-
			139.073	0.317		
	Perbaikan	Lognormal	t_{med}	s	-	252.438
			251.640	0.0796		

3.8. Perhitungan interval perawatan dengan optimasi biaya

Optimasi biaya pada kegiatan perawatan dan perbaikan mesin press manual dilakukan dengan cara mencari interval waktu perbaikan dan penggatian dengan total biaya minimum. Total biaya minimum diperoleh ketika ada keseimbangan antara *failure cost* dengan *preventive cost*.

Failure Cost

Perhitungan biaya perbaikan pada komponen *Rolling Key Clutch* mesin PM 70

a. Biaya tenaga kerja
Untuk perbaikan komponen ini membutuhkan 3 orang teknisi dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 8. Biaya tenaga kerja

Tenaga Kerja	Gaji (Rp)	Jumlah Personel	Total Gaji (Rp) Per Bulan	Per Jam
Foreman	4.120.000,-	1	4.120.000,-	25.750,-
Teknisi	3.310.000,-	2	6.620.000,-	41.375,-
TOTAL			10.740.000,-	67.125,-

b. Biaya kehilangan produksi
Biaya bahan baku 1 pcs produk (Ø 150) = Rp 5.300,-
Jumlah produksi per jam = 937 pcs
Biaya operator per jam = Rp 20.687,-
Biaya kehilangan produksi / jam = (5300 x 937) + 20687 = Rp 4.986.787,-

c. Biaya komponen
Data dari bagian pembelian untuk part *Rolling Key Clutch* adalah Rp. 3.150.000,-

d. Biaya satu siklus *failure* (Cf)
Nilai MTTR *Rolling Key Clutch* = 210.718 menit = 3.51 jam
Cf = ((biaya tn kerja/jam + biaya kehilangan prod./jam) x MTTR) + biaya komponen
= (67125 + 4986787) 3.51 + 3150000
= 17570747.37 + 3150000
= Rp 20.720.747,37

Berikut disajikan tabel hasil hitung untuk biaya kehilangan produksi/jam dan biaya satu siklus failure untuk semua komponen mesin.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 9 Biaya Kehilangan Produksi per jam (Rp.)

Deskripsi	*Rolling Key Clutch* mesin PM 70	*Brake Band* PM 04	*Rack and Pinion* PM 31
Biaya bahan baku 1 pcs produk (Ø 190)	5,300	6,100	9,400
Jumlah produksi per jam	937	875	675
Biaya operator per jam	20,687	20,687	20,687
Biaya kehilangan produksi / jam	**4,986,787**	**5,358,187**	**6,365,687**

Adapun biaya satu siklus failure (Cf) untuk semua komponen mesin disajikan pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10 Biaya satu siklus failure (Rp.)

Deskripsi	*Rolling Key Clutch* mesin PM 70	*Brake Band* PM 04	*Rack and Pinion* PM 31
Biaya komponen	3150000	840,000	700,000
MTTR perjam	3.51	1.87	4.20
Biaya tenaga kerja perjam	67125	20,687	20,687
Biaya kehilangan produksi / jam	4,986,787	5,358,187	6,365,687
Biaya satu siklus failure	**20,889,231**	**10,898,494**	**27,522,771**

Preventive Cost

a. Waktu standar pemeliharaan/perbaikan
   Sesuai dengan data pada departemen maintenance , waktu standar pemeliharaan komponen *Rolling Key Clutch* adalah 150 menit = 2.5 jam
b. Biaya satu siklus *preventive* (Cp)
   Cp = (biaya tenaga kerja/jam x waktu standar pemeliharaan) + biaya komponen
   = (67125 x 2.5) + 3150000 = Rp 3.317.812,5

3.9. Interval perawatan dengan total biaya minimum

Total biaya minimum diperoleh ketika ada keseimbangan antara *failure cost* dan *preventive cost*. Perhitungan total biaya minimum mengikuti persamaan berikut :

Total expected replacement cost (Jardine, 2005)
= (biaya satu siklus *preventive* x peluang siklus *preventive*) + (biaya satu siklus *failure* x peluang siklus *failure*)
= Cp x R(tp) + Cf x (1 - R(tp)) …….. (5)

Expected cycle length
= (ekspektasi satu siklus *preventive* x peluang siklus *preventive*) + (ekspektasi satu siklus *failur*e x peluang siklus *failure*)

$$= tp\ x\ R(tp) + \int_0^{tp} t\ f(t$$ ……..... (6)

Maka persamaan *total cost* minimum di atas akan menjadi:

$$Tc\ (tp) = \frac{Cp \times R(tp) + Cf \times (1 - R(tp))}{tp \times R(tp) + \int_0^{tp} t \times f(t)dt}$$ ……..... (7)

atau

$$Tc\ (tp) = \frac{Cp\ \times R(tp)\ +\ Cf \times (1 - R(tp))}{tp\ \times\ R(tp)\ +\ MTTF(1 - R(tp))}$$ ……..... (8)

Perhitungan total cost dengan
tp = 1 hari = 24 jam ;
MTTF = 49.959 hari = 1199 jam
t_{med} = 22.021
s = 1.280

ISBN 978-602-73461-8-5

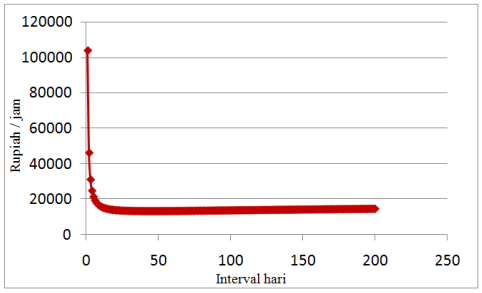
$$R(tp) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s}\ln\frac{t}{t_{med}}\right) \quad \text{..... (9)}$$

$$Tc\ (tp) = \frac{Cp \times R(tp) + Cf \times (1 - R(tp))}{tp \times R(tp) + MTTF(1 - R(tp))} \quad \text{.....(10)}$$

$$Tc\ (24) = \frac{(3317812.5 \times 0.9921) + 20720747.37 \times (1 - 0.9921)}{(24 \times 0.9921) + 1199\ (1 - 0.9921)}$$

$$= 103817.19 \approx \text{Rp } 103.817{,}19 \text{ / jam}$$

Dengan bantuan aplikasi Excel perhitungan total biaya akan terus dihitung hingga periode waktu tertentu yang menunjukkan nilai Tc terendah. Nilai Tc terendah akan menunjukkan interval dari perawatan yang optimal seperti pada gambar 4.7. Tabel perhitungan aplikasi Excel dapat dilihat pada lampiran 4.10. Dari tabel tersebut didapatkan nilai Tc terendah adalah Rp 13.482,83 / jam dengan interval perawatan 45 hari (1080 jam).



Gambar 3. Grafik total biaya perawatan *rolling key clutch* PM 70

Berdasarkan penentuan interval yang optimal dengan total biaya perawatan minimum dapat diketahui bahwa besarnya nilai interval optimal lebih rendah dari nilai MTTF-nya. Hal ini menunjukkan bahwa interval perawatan yang disarankan tidak melebihi waktu kegagalannya sehingga dapat meminimalkan terjadinya kegagalan.

Tabel 11 Rekap perhitungan interval optimal dan nilai MTTF

Komponen	**Interval Optimal (hari)**	**MTTF (hari)**
Rolling Key Clth. PM 70	45	49.959
Brake Band PM 04	38	83.50
Rack and Pinion PM 31	59	146.239

Jika perhitungan *Total Cost* pada tabel perhitungan aplikasi Excel dilanjutkan sampai nilai interval sama dengan nilai MTTF-nya, maka kita dapat membandingkan nilai *Reliability* dan *Total Cost* per jam dari komponen sebelum dan sesudah *predictive maintenance* seperti pada Tabel 11

Tabel 12 Perbandingan *reliability* sebelum dan sesudah *predictive maintenance*

Komponen	**Sebelum**	**Sesudah**	**Selisih**
Rolling Key Clth. PM 70	0.260	0.288	(+) 0.028
Brake Band PM 04	0.505	0.893	(+) 0.388
Rack and Pinion PM 31	0.439	0.996	(+) 0.558

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 13 Perbandingan *Total Cost* perawatan per jam sebelum dan sesudah *predictive maintenance*

Komponen	Sebelum	Sesudah	Selisih
Rolling Key Clth. PM 70	Rp 13.492,-	Rp 13.482,-	(-) Rp 10,-
Brake Band PM 04	Rp 2.942,-	Rp 1.891,-	(-) Rp 1.051,-
Rack and Pinion PM 31	Rp 4.486,-	Rp 599,-	(-) Rp 3.887,-

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pengolahan data yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk mengurangi frekuensi kegagalan fungsi mesin Press Manual dengan metode *Reliability Centered Maintenance II* menghasilkan penjadwalan pada *Schedule On Condition Task* rata-rata interval selama 2 bulan*, Schedule Discard Task* dan *Failure Finding Task* rata-rata interval 1 tahun. Disamping itu untuk *Combination Task* dilakukan pada komponen *Rack and Pinion, Shaft Cam, Pin Cam* rata-rata interval *Scheduled On Condition* interval 1 bulan, dan *Scheduled Discard Task* interval 2 tahun.
2. Analisa keandalan dilakukan pada komponen dengan nilai RPN tertinggi pada *Rolling Key Clutch* pada mesin PM 70 (25 ton) dengan nilai MTTF 49.959 dan MTTR 210.718. Hal ini berarti komponen berpotensi mengalami kegagalan pada umur pemakaian 49.959 hari dengan waktu rata-rata perbaikan selama 210.718 menit. Untuk *Brake Band* pada mesin PM 04 (40 ton) dengan nilai MTTF 43.565 dan MTTR 254.846. Komponen *Rack and Pinion* pada mesin PM 31 (63 ton) dengan nilai MTTF 146.239 dan MTTR 252.438.
3. Analisa interval perawatan optimal dengan perhitungan total biaya perawatan minimum terjadi pada keseimbangan *failure cost* dan *preventive cost*, yaitu untuk *Rolling Key Clutch* pada mesin PM 70 dengan interval perawatan 45 hari didapat *Total Cost Minimum* Rp 13.482,- / jam. Untuk *Brake Band* pada mesin PM 04 dengan interval perawatan 40 hari dengan *Total Cost Minimum* Rp 1.891,- / jam, dan komponen *Rack and Pinion* pada mesin PM 31 dengan interval perawatan 59 hari *Total Cost Minimum* Rp 599,- / jam.
4. Perbandingan nilai *Reliability* dan Total biaya perawatan sebelum dan sesudah *predictive maintenance* untuk masing-masing komponen adaah *Rolling Key Clutch, reliability* naik 0.028 dan Total biaya perawatan turun sebesar Rp 10,-/jam, *Brake Band, reliability* naik 0.388 dan Total biaya perawatan turun sebesar Rp 1.051,-/jam, dan *Rack and Pinion, reliability* naik 0.558 dan Total biaya perawatan turun sebesar Rp 3.887,-/jam

4.2. Saran

1. Untuk penelitian yang sama dapat dikembangkan pada pengendalian *sparepart* komponen yang ditinjau dari sisi waktu dan jumlahnya sehingga sesuai dengan waktu perawatan optimal pada mesin.
2. Untuk penelitian yang sama dapat dilanjutkan menghitung optimasi biaya perawatan dengan interval optimal pada komponen-komponen yang lain sehingga interval yang didapatkan sesuai dengan interval dari hasil metode RCM II sekaligus mendapatkan penurunan biaya perawatan tanpa menurunkan nilai keandalan dari mesin itu sendiri.

ISBN 978-602-73461-8-5

Daftar Pustaka

Afefy, Islam H. 2010. *Reliability Centered Maintenance Methodology and Application; a case study.* Journal Engineering. Egypt. Fayoum University.

Assauri, S. 1999. *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta. Fakultas EKonomi Universitas Indonesia.

Bloom, Neil. 2006. *Reliability Centered Maintenance.* McGraw-Hill. Inc.

Cahyono, Dwi T. 2013. *Penerapan Reliability Centered Maintenance pada Sistem Gas Buang Boiler di PT. Ipmomi Paiton, Probolinggo.* Jurnal. ITS. Surabaya.

Dhillon. 2006. *Maintainability, Maintenance, adn Reliability fo Engineer*. CRC. Taylor & Francis

Ebeling, Charles E. 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. McGraw-Hill International Edition.

Farisa, Sugiono. 2015. *Implementasi Teknik Keandalan untuk mengoptimalkan Interval Perawatan pada Sistem Coal Feeder (Studi Kasus : PT. PJB UP Paiton)*. Jurnal.

Jardine, Andrews KS. 2013. *Maintenance, Replacement and Reliability; Theory and Applications*. CRC Press. Taylor & Francis Group.

Keith. 2002. *Organizational Behaviour; Human Behaviour At Work*. New Delhi. Tata McGraw-Hill Book Company.

Kullawong, Tadpon. 2015. *Integrating Reliability Centered Maintenance with Cost Optimization & Application in Plant of Hard Chrome Plating.* International Journal of Industrial and Management (IJIEM). Vol. 6 No. 2.

Lukodono, Rio Prasetyo, Pratikno, Rudy Soenoko. 2013. *Analisis Penerapan Metode RCM dan MVSM untuk Meningkatkan Keandalan pada Sistem Maintenance (Studi Kasus PG. X)*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.4 Vol. 4. ISSN 0216-468X

Lyonnet, P. 1991. *Maintenance Planning Mathematic and Methods*. London. Chapman & Hall

Moubray, John. 1991. *Reliability Centered Maintenance.* Oxford. Butterworth. Heineman.

Prabhakar, Deepak. 2013. *A NewModel for Reliability Centered Maintenance in Petroleum Refineries.* International Journal.

Praharsi, Yugowati. 2015. *Perancangan Penjadwalan Preventive pada PT Artha Prima Sukses Makmur*. Jurnal Ilmiah Teknik Industri. ISSN 1412-6869

Puspitasari, Diana. 2016. *Evaluasi Manajemen Perawatan dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II pada Mesin Blowing I di Plant I PT. Pisma Putra Textile*. Jurnal Teknik Industri. Vol. XI

Purbandari, Nariska, Wakhid Ahmad Jauhari. 2014. *Developing Maintenance Policy for Solna Printing Machine with Relaibility Centered Maintenance (RCM II)*. Journal. ISSN: 2078-0958.

Suwandi, Arief, Ulia Rahma. 2016. *"Reliability Analysis And Maintenance Management Evaluation Of Flash Butt Welding Machine With RCM II." Proceeding of 9th International Seminar on Industrial Engineering and Management ISSN : 1978-774X.*

Suwandi, Arief, Prianggara Nal. 2015. *"Improvement Work Efficiency And Manufacturing Productivity At PT . XYZ With Line Balancing Analysis."* : 105–11.

Suwandi, Arief, Teuku Yuri Zagloel, Akhmad Hidayatno. 2017. *"Enhancing the Quality of Industrial Output in Indonesia – An Analysis of Factors Causing Defective Bolt Stud Cylinder Products."* 1(3): 62–72.

Sayuti, M, Muhammad Siddiq. 2013. *Evaluasi Manajemen Perawatan Mesin dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Pada PT. Z.* Jurnal Industrial Enginnering. ISSN 2302 934X

ISBN 978-602-73461-8-5

Soesetyo, Ivan. 2014. *Penjadwalan Predictive Maintenance dan Biaya Perawatan Mesin Pellet di PT Charoen Pokphand Indonesia – Sepanjang*. Jurnal Tirta. Vol.2 no. 2

Sudrajat, Ating. 2011. *Pedoman Praktis Manajemen Perawatan Mesin Industri*.Jakarta. Efika Aditama.

Villacourt, Mario. 1992. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA): A Guide for Continuous Improvement for the Semiconductor Equipment Industry*. International Sematech.

Wahjudi, Didik, Amelia. 2000. *Analisa Penjadwalan dan Biaya Perawatan Mesin Press untuk Pembentukan Kampas Rem*. Jurnal Teknik Mesin Vol. 2. No.1

ISBN 978-602-73461-8-5

Pengembangan Rekomendasi Untuk Menurunkan Emisi SO_2 dan NO_X dengan Optimalisasi Level Parameter Menggunakan Metode Taguchi (Studi Kasus: PT Sinar Tambang Arthalestari)

Aries Susanty, Auni Wahyu Intan Pertiwi
Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedharto, S.H., Tembalang, Semarang 50275
Telp. (024) 7460052
E-mail: ariessusanty@gmail.com

Intisari

Pengoperasian sektor industri di Indonesia dapat menyebabkan penurunan kualitas udara dan peningkatan kebisingan. Oleh karena itu pemerintah memberikan batasan terhadap emisi dari sektor industri yang ada sebagai upaya menjaga kualitas udara yang ada. PT Sinar Tambang Arthalestari sebagai salah satu industri semen yang terletak di Ajibarang, dalam proses produksinya masih menghasilkan emisi yang melewati baku mutu emisi yang ada sehingga perusahaan perlu melakukan optimalisasi proses. Optimalisasi proses dapat dilakukan dengan menentukan kombinasi level optimal dari parameter proses yang ada menggunakan Metode Taguchi dengan karakteristik kualitas smaller-the-better. Penelitian ini bertujuan memperoleh kombinasi optimal dari parameter proses yang ada sehingga emisi yang dihasilkan dapat diturunkan dan mengetahui parameter proses yang paling berkontribusi terhadap penghasilan emisi. Data yang digunakan adalah data historis bulan Agustus 2017 dan data hasil percobaan bulan Mei 2018. Kombinasi optimal didapatkan dari perhitungan signal-to-noise ratio multiresponse dengan respons berupa emisi SO_2 dan NO_x. Variabel penelitian terdiri dari empat parameter proses yaitu, material feed, coal feed, suhu, dan kiln speed. Hasil penelitian menunjukkan kombinasi optimal dari parameter proses untuk menurunkan emisi adalah penggunaan level 1 untuk material feed, level 3 untuk coal feed, level 2 untuk suhu, dan level 1 untuk kiln speed. Parameter proses yang memiliki kontribusi terbesar dalam penghasilan emisi adalah coal feed dengan persentase kontribusi sebesar 38,070%.

Kata kunci: Emisi, Optimalisasi Parameter Proses, Persentase Kontribusi, Signal-to-Noise Ratio Multiresponses, Taguchi Loss Function.

1. Pendahuluan

Sektor industri di Indonesia merupakan salah satu penopang perekonomian yang terus berkembang dalam beberapa tahun terakhir. Namun, perekembangan sektor industri ini memiliki dampak negatif bagi lingkungan. Pengoperasiannya memiliki potensi menurunkan kualitas udara dan meningkatkan kebisingan (Zaenuri, 2011). Kualitas udara merupakan masalah yang perlu mendapatkan perhatian yang serius karena berkaitan dengan keberlangsungan hidup banyak pihak. Kualitas udara dikatakan baik atau normal apabila terdiri dari 78% Nitrogen, 20% Oksigen, 0,93% Argon, 0,03% Karbon Monoksida dan 1,04% Neon (Wiharja, 2002). Apabila terdapat tambahan gas lain yang menimbulkan perubahan komposisi maka dapat dikatakan bahwa terjadi pencemaran yang menyebabkan buruknya kualitas udara. Kualitas udara yang buruk dapat menyebabkan perubahan iklim, dampak terhadap lingkungan alami, kesehatan, dan ekonomi. Beberapa polutan yang dapat

ISBN 978-602-73461-8-5

menurunkan kualitas udara antara lain Suspended Particulate Matter (SPM), Nitrogen Oksida (NOx), Sulfur Dioksida (SO_2), Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (CH), dan Hidrogen Sulfida (H2S) (Wiharja, 2002).

PT Sinar Tambang Arthalestari merupakan industri yang memproduksi Portland Pozzolan Cement (PPC) yang digunakan untuk aplikasi konstruksi bangunan. Proses produksinya menghasilkan polutan berupa SPM, NOx dan SO2. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.19/MNLHK/SETJEN/KUM.1/2/2017 tentang Baku Mutu Emisi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Semen, terdapat beberapa variabel yang dijadikan parameter untuk memantau proses produksi semen. Variabel yang diukur pada tungku utama (kiln) antara lain partikulat, SO_2, dan NOx maksimal sebanyak 70 mg/Nm3 untuk partikulat, 650 mg/Nm3 untuk SO_2, dan 800 mg/Nm^3 untuk NOx. Dari ketiga polutan yang dihasilkan, SO_2 dan NOx dianggap sebagai polutan yang cukup berbahaya karena kandungannya dapat menjadi pemicu pembentukan partikulat yang menjadi ancaman bagi kesehatan dan lingkungan. Selain itu, SO_2 yang berlebih dapat menyebabkan korosi pada mesin yang dapat merugikan perusahaan. Pemantauan emisi dilakukan dengan menggunakan *Continuous Emissions Monitoring System* (CEMS).

Menurut hasil pemantauan emisi pada periode 23-25 Agustus 2017, NO_x melewati baku mutu emisi sebanyak satu kali sebesar 43,13 mg/Nm^3, sedangkan SO_2 melewati baku mutu emisi sebanyak empat kali sebesar 425,809 mg/Nm^3, 384.433 mg/Nm^3, 177.546 mg/Nm^3, dan 74,132 mg/Nm^3. Hal ini tentu dapat menyebabkan kerugian bagi perusahaan dan berakibat buruk bagi lingkungan. Variabel proses yang mempengaruhi emisi SO_2 dan NO_x adalah banyaknya bahan baku yang digunakan (*material feed*), banyaknya bahan bakar yang digunakan (*coal feed*), suhu, dan kecepatan *kiln*. Selama ini perusahaan belum melakukan optimasi proses agar variasi dari kedua emisi yang disebabkan oleh keempat variabel proses tersebut dapat diturunkan. Penggunaan *Taguchi Multi-Respons* dalam proses produksi semen dapat digunakan untuk mengoptimasi proses sehingga kedua emisi hasil produksi dapat diturunkan.

2. Metode

2.1. Objek penelitian

Objek yang akan diteliti adalah emisi SO_2 dan NO_X dari proses produksi *Portland Pozzolan Cement* pada PT Sinar Tambang Arthalestari. Emisi SO_2 dan NO_x diukur dengan menggunakan *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS).

2.2. Karakteristik kualitas

Secara umum karakteristik kualitas memiliki suatu target. Terdapat tiga target karakteristik kualitas yang masing-masing memiliki fungsi untuk mendefinisikan hubungan antara kerugian ekonomi dan penyimpangan nilai target karakteristik kualitas. Ketiga karakteristik kualitas tersebut antara lain *smaller-the-better, nominal-the-best,* dan *larger-the-better* (Huang, 2000), (Susana & Sunaryo, 2012). Karakteristik kualitas yang diamati pada penelitian ini adalah tingkat emisi SO_2 dan NO_x yang dihasilkan. Semakin kecil tingkat emisi yang dihasilkan, maka akan semakin baik karena tidak akan melewati baku mutu emisi yang ditetapkan pemerintah. Dengan demikian karakteristik kualitas *smaller-the-better* digunakan untuk penelitian ini.

2.3. Faktor kendali dan level faktor

Pada dasarnya terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi emisi SO_2 dan NO_X baik dari segi material, metode, mesin, maupun manusia yang merupakan faktor yang dapat dikendalikan dan faktor yang tidak dapat dikendalikan. Faktor yang dapat dikendalikan

ISBN 978-602-73461-8-5

adalah dari segi metode, dengan faktor yang digunakan adalah *material feed, coal feed,* suhu, dan *kiln speed* dengan masing-masing faktor kendali memiliki 3 level.

Tabel 1 Level faktor

Faktor Kendali	Level	Keterangan
Material Feed	1	390 ton/jam
	2	395 ton/jam
	3	400 ton/jam
Coal Feed	1	36 ton/jam
	2	37 ton/jam
	3	38 ton/jam
Suhu	1	1050 °C
	2	1080 °C
	3	1100 °C
Kiln Speed	1	3.80%
	2	3.90%
	3	4.00%

2.4. *Orthogonal arrays*

Percobaan dilakukan menggunakan rancangan percobaan Taguchi, yaitu sesuai dengan matriks orthogonal 3 level. Matriks orthogonal 3 level memiliki beberapa desain percobaan yang dapat digunakan antara lain L9(3^4), L27(3^{13}), dan L81(3^{40}). Penentuan mastriks orthogonal dilakukan dengan menentukan derajat kebebasan penelitian sebagai berikut (Soejanto, 2009):

Derajat kebebasan = (Jumlah faktor)(Level faktor-1)
Derajat kebebasan = (4)(3-1)
Derajat kebebasan = 8 derajat kebebasan

Dengan derajat kebebasan penelitian sebesar 8 maka dapat digunakan matriks orthogonal L9(3^4).

Tabel 2 Orthogonal Array Penelitian

Material Feed	*Coal Feed*	Suhu	*Kiln Speed*
1	1	1	1
1	2	2	2
1	3	3	3
2	1	3	2
2	2	1	3
2	3	2	1
3	1	2	3
3	2	3	1
3	3	1	2

Keterangan:
1 : Level 1 tiap faktor
2 : Level 2 tiap faktor
3 : Level 3 tiap faktor

ISBN 978-602-73461-8-5

2.5. Langkah analisis

2.5.1. Menghitung nilai *loss function*

Nilai *loss function* dihitung sesuai dengan karakteristik kualitas yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan karakteristik *smaller-the-better* dengan perhitungan menggunakan persamaan (Nian, et al., 1999):

$$L_{ij} = \frac{1}{n}\sum_{p=1}^{n} y^2{}_{ijp} \quad \text{.....(1)}$$

dengan keterangan:

L_{ij} : *loss function* dari karakteristik performa ke-i pada eksperimen ke-j
n : jumlah replikasi
y_{ijp} : nilai dari karakteristik performa ke-i pada eksperimen ke-j saat replikasi ke-p

2.5.2. Melakukan normalisasi nilai *loss function*

Normalisasi *loss function* dilakukan setelah didapatkan nilai *loss function* dari tiap respons. Perhitungannya menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$S_{ij} = \frac{L_{ij}}{\overline{L_{ij}}} \quad \text{.....(2)}$$

dengan keterangan:

L_{ij} : *loss function* dari karakteristik performa ke-i pada eksperimen ke-j
$\overline{L_{ij}}$: rata-rata *loss function* dari karakteristik performa ke-i pada eksperimen ke-j
S_{ij} : normalisasi *loss function* karakteristik performa ke-i pada eksperimen ke-j

2.5.3. Menetapkan faktor pembobotan

Terdapat dua respons yang diamati pada penelitian ini sehingga perlu dilakukan penggabungan respons untuk menentukan nilai total *loss function*. Penggabungan respons dilakukan dengan menggunakan *principal component analysis* dengan melihat nilai *eigenvector* dari respons yang memiliki nilai *eigenvalue* lebih dari 1. *Principal component analysis* dilakukan pada hasil normalisasi *loss function*.

2.5.4. Menghitung total *loss function*

Total loss function dihitung dengan menggunakan persamaan (Nian, et al., 1999):

$$TL_j = \sum_{i=1}^{m} w_i S_{ij} \quad \text{..... (3)}$$

dengan keterangan:

TL_j : *total loss function* pada eksperimen ke-j
w_i : faktor pembobotan untuk karakteristik performa ke-i
S_{ij} : normalisasi *loss function* karakteristik performa ke-i pada eksperimen ke-j

2.5.5. Menghitung nilai *multi-responses signal-to-noise ratio* (S/N *ratio*)

S/N *ratio* multirespons dihitung dengan menggunakan hasil *total loss function* yang telah disatukan. Dalam Taguchi, S/N *ratio* digunakan untuk mengukur besar penyimpangan karakteristik kualitas dari nilai yang dikehendaki. Perhitungannya menggunakan persamaan (Nian, et al., 1999) :

$$\eta_j = -10\log\left(TL_j\right) \quad \text{.....(4)}$$

dengan keterangan:

TL_j : *total loss function* pada eksperimen ke-j

ISBN 978-602-73461-8-5

η_{ij} : S/N *ratio* multirespons dari karakteristik performa ke-i pada eksperimen ke-j

2.5.6. Mencari kombinasi optimal

Penentuan kombinasi optimal level faktor kendali dilihat dari nilai S/N *ratio* multirespons tertinggi dari keseluruhan level. Level dengan S/N *ratio* multirespons tertinggi merupakan level optimal yang akan digunakan.

2.5.7. Melakukan analisis variansi

Analisis variansi dilakukan untuk mengetahui apakah faktor kendali yang ada berpengaruh terhadap emisi SO_2 dan NO_X. Analisis variansi dilakukan dengan menggunakan *F test,* yaitu membandingkan nilai *F ratio* dengan F tabel pada tingkat α 5% dan 10%. Persamaan yang digunakan adalah:

$$F = \frac{MS}{Se} \quad \text{.....(5)}$$

dengan keterangan:
F : F *ratio*
MS : jumlah rata-rata kuadrat faktor A
Se : jumlah kuadrat *error*

2.5.8. Menghitung persen kontribusi

Persentase kontribusi merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang signifikan (Belavendram, 1995). Faktor yang dianggap tidak memberi pengaruh secara signifikan bila nilai F_{hitung} lebih kecil dibandingkan nilai F_{tabel}. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan persentase kontribusi adalah (Belavendram. 1995):

$$\rho_e = \frac{Se}{ST} x100\% \quad \text{.....(6)}$$

dengan keterangan:
ρ_A : persentase kontribusi faktor A
Se : *sum of squares due to error*
Si' : jumlah kuadrat murni untuk faktor ke-i

2.5.9. Melakukan percobaan konfirmatori

Setelah diketahui kombinasi optimal dari level faktor kendali, dilakukan percobaan dengan menggunakan level dari kombinasi optimal. Percobaan dilakukan dengan 30 kali replikasi. Kemudian dilakukan perhitungan penurunan *mean,* variansi, simpangan baku, dan perhitungan uji T untuk mengetahui perbedaan emisi SO_2 dan NO_X sebelum dan setelah penggunaan kombinasi optimal level parameter. Persamaan uji T yang digunakan adalah:

$$t = \frac{\overline{y_1} - \overline{y_2}}{\sqrt{(n_1 - 1){s_1}^2 + (n_2 - 1){s_2}^2}} x \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \quad \text{.....(7)}$$

dengan keterangan:
t : t hitung
$\overline{yy}$: rata-rata respons
n : banyaknya sampel
s^2 : varians dari respons

ISBN 978-602-73461-8-5

3. Hasil dan Pembahasan

Percobaan dilakukan sebanyak 9 kali eksperimen dengan kombinasi yang telah disesuaikan dengan *orthogonal arrays*. Hasilnya kemudian dilakukan perhitungan nilai *loss function* dari masing-masing emisi.

Tabel 3 Hasil percobaan

NO_x					SO_2				
538,94	542,51	610,73	594,06	571,56	124,133	148,265	136,199	82,7541	248,265
629,86	699,38	614,62	647,95	647,95	41,3785	41,3785	58,3785	47,0451	47,0451
708,89	464,07	686,48	519,81	494,01	41,3785	82,7541	62,0663	65,3996	55,3996
576,97	487,84	432,41	564,07	515,32	455,152	365,508	410,33	439,33	410,33
713, 64	717,21	790,42	740,42	740,42	206,887	206,887	230,089	222,621	214,621
237,09	578,76	417,92	489,25	430,75	124,133	102,754	248,265	113,443	109,355
643,52	613,22	628,37	680,37	641,37	620,66	82,7541	401,378	410,433	406,527
620,35	617,97	610,16	610,16	614,66	248,265	206,887	227,576	309,89	227,576
628,07	712,45	650,26	709,60	675,10	124,133	206,887	165,51	165,51	197,892

Emisi SO_2 dan NO_x harus memenuhi baku mutu emisi yang ditetapkan pemerintah, yaitu maksimal sebesar 650 mg/Nm^3 untuk SO_2 dan 800 mg/Nm^3 untuk NO_x, sehingga *loss function* dari emisi SO_2 dan NO_x dihitung dengan menggunakan karakteristik kualitas *smaller-the-better.* Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 *Loss function* emisi SO_2 dan NO_x

Eksperimen	*Loss Function*	
	SO_2	NO_x
1	24885,084	327470,023
2	2251,779	420657,540
3	3951,775	340678,765
4	174102,352	268320,390
5	46833,418	548976,743

Tabel 4 *Loss function* Emisi SO_2 dan NO_x (Lanjutan)

Eksperimen	*Loss Function*	
	SO_2	NO_x
6	22486,177	198149,366
7	177378,385	411854,705
8	60810,245	377825,195
9	30431,847	456837,634
Rata-rata	60347,896	372307,818

Dilakukan normalisasi dari nilai *loss function* karena kepentingan dari tiap karakteristik yang berbeda. Normalisasi dilakukaan dengan input berupa nilai *loss function* yang dihitung dengan persamaan 2. Hasil normalisasi *loss function* ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Normalisasi *loss function*

Eksperimen	Normalisasi	
	SO_2	NO_x
1	0,4124	0,8796
2	0,0373	1,1299
3	0,0655	0,9150
4	2,8850	0,7207

ISBN 978-602-73461-8-5

Eksperimen	Normalisasi	
	SO_2	NO_x
5	0,7761	1,4745
6	0,3726	0,5322
7	2,9393	1,1062
8	1,0077	1,0148
9	0,5043	1,2270

Dilakukan penggabungan antara respons emisi SO_2 dan NO_X dengan pemberian bobot pada masing-masing respons sehingga didapatkan nilai *total loss function*. Pembobotan dilakukan dengan menggunakan *principal component analysis* dari nilai normalisasi. Tabel 6 menunjukkan *eigenvalues* untuk komponen emisi.

Tabel 6 Eigenvalues komponen emisi

Komponen	*Eigenvalue*
NO_x	1,0877
SO_2	0,9123

Bobot ditentukan dari eigenvector komponen emisi yang memiliki *eigenvalue* lebih dari atau sama dengan 1. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa *eigenvalue* dari NO_x lebih dari 1, yaitu 1,0877. *Eigenvector* dari komponen NO_x adalah [0,707, 0,707] sehingga total loss function dapat dituliskan sebagai:

$$TL_j = 0{,}707 SS_{SO_2} + 0{,}707 SS_{NO_x} \quad \text{.....(8)}$$

Dengan menggunakan persamaan 3 dilakukan perhitungan untuk nilai *total loss function* emisi dengan substitusi nilai normalisasi *loss function*. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7 *Total loss function*

Eksperimen	*Total Loss Function*
1	0,9134
2	0,8252
3	0,6932
4	2,5492
5	1,5912
6	0,6397
7	2,8602
8	1,4299
9	1,1380

Nilai *multi-response signal-to-noise ratio* didapatkan dari nilai *total loss function* masing-masing respons yang telah diberi bobot yang disubstitusikan ke dalam persamaan 6. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8 Rasio S/N multirespons

Eksperimen	Rasio S/N Multirespons
1	0,3934
2	0,8344
3	1,5912
4	-4,0641
5	-2,0171

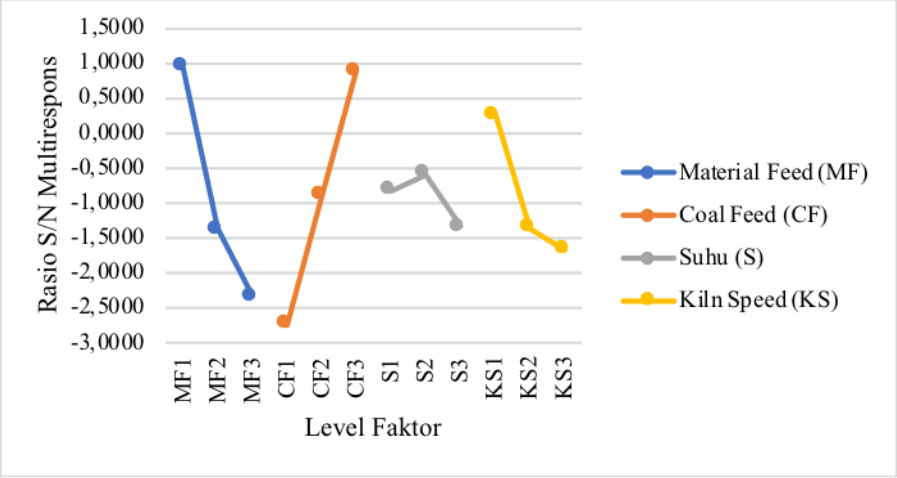
ISBN 978-602-73461-8-5

Eksperimen	Rasio S/N Multirespons
6	1,9401
7	-4,5639
8	-1,5530
9	-0,8780

Desain eksperimen Taguchi yang memanfaatkan bentuk orthogonal memungkinkan adanya pemisahan pengaruh pada level yang berbeda. Pemisahan pengaruh setiap faktor pada level yang berbeda dilakukan dengan mencari nilai rata-rata rasio S/N multirespons berdasarkan matriks orthogonal yang digunakan dalam penelitian. Sebagai contoh, nilai rasio S/N multirespons dari faktor *material feed* pada level satu dihitung dengan mencari nilai rata-rata rasio S/N multirespons pada eksperimen pertama hingga ketiga. Nilai rasio S/N multirespons pada level dua dihitung dengan mencari nilai rata-rata rasio S/N multirespons pada eksperimen keempat hingga keenam. Nilai rasio S/N multirespons pada level ketiga dihitung dengan mencari rata-rata rasio S/N multirespons pada eksperimen ketujuh hingga kesembilan. Begitu pula untuk nilai rasio S/N multirespons faktor yang lain. Nilai rasio S/N multirespons untuk tiap level dari keempat faktor dirangkum pada tabel 9.

Tabel 9 Rasio S/N multirespons tiap faktor

Level	**Faktor Kendali**			
	Material Feed	***Coal Feed***	**Suhu**	***Kiln Speed***
1	0,9397	-2,7448	-0,8339	0,2602
2	-1,3804	-0,9119	-0,5964	-1,3692
3	-2,3316	0,8845	-1,3420	-1,6633
Selisih	3,2713	3,6293	0,7455	1,9235
Rata-rata		-0,9241		



Gambar 1 Rasio S/N Multirespons tiap faktor

Gambar 1 menunjukkan grafik rata-rata rasio S/N multirespons untuk tiap faktor. Berdasarkan grafik tersebut dapat ditentukan kombinasi faktor optimal yang mengasilkan respons minimum untuk masing-masing emisi SO_2 dan NO_X. Kombinasi optimal dilihat dari nilai rata-rata rasio S/N multirespons tertinggi dari tiap level. Tabel 10 menunjukkan nilai kombinasi optimal untuk tiap faktor kendali.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 10 Kombinasi optimal faktor kendali

Material Feed	***Coal Feed***	**Suhu**	***Kiln Speed***
Level 1	Level 3	Level 2	Level 1
390 ton/jam	38 ton/jam	1080°C	3,8%

3.1 Analisis Variansi (ANOVA)

Dilakukan analisis variansi dari tiap-tiap faktor kendali untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh dari perlakuan terhadap respons. Selain itu dilakukan identifikasi kontribusi dari masing-masing faktor terhadap masing-masing emisi. Nilai *alpha* yang digunakan adalah 0,05 dan 0,1 dengan nilai F tabel sebesar 3,4 dan 2,54 berturut-turut. Faktor dikatan berpengaruh apabila nilai F hitung lebih besar daripada nilai F tabel. Hasilnya dirangkum dalam tabel 11.

Tabel 11 Hasil F Test

Faktor Kendali	**Derajat Kebebasan**	**MS**	**F_{hitung}**	**F_{tabel}**	**Keterangan**
Material Feed	2	8,4945	286,3987	3,40	Terdapat Pengaruh
Coal Kiln Feed	2	9,8792	333,0857	3,40	Terdapat Pengaruh
Suhu	2	0,0792	2,6719	2,54	Terdapat Pengaruh
Kiln Speed	2	3,2205	108,5817	3,40	Terdapat Pengaruh
Error	24	0,0297			

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa *material feed, coal feed,* dan *kiln speed* berpengaruh terhadap emisi pada alpha 0,05 dan 0,1. Sedangkan suhu berpengaruh terhadap emisi pada alpha 0,1.

Persentase kontribusi dihitung untuk mengetahui seberapa besar faktor kendali berkontribusi pada respons yang ada. Perhitungannya dialukan dengan membagi jumlah kuadrat murni tiap faktor dengan nilai jumlah kuadrat total. Hasil perhitungan persentase kontribusi dirangkum pada Tabel 12.

Tabel 12 Persentase kontribusi tiap faktor

Faktor Kendali	**Derajat Kebebasan**	**SS**	**MS**	**SS'**	**Kontribusi**
Material Feed	2	16,9890	8,4945	16,9297	32,7179%
Coal Kiln Feed	2	19,7585	9,8792	19,6992	38,0701%
Suhu	2	0,1585	0,0792	0,0992	0,1917%
Kiln Speed	2	6,4410	3,2205	6,3817	12,3331%
Error	24	0,7118	0,0297		

Didapatkan bahwa faktor yang memiliki kontribusi terbesar terhadap emisi SO_2 dan NO_x adalah *coal feed* dengan besar kontribusi sebanyak 38,070%. Faktor dengan kontribusi terkecil adalah suhu dengan nilai kontribusi sebesar 0,1917%.

Percobaan Konfirmatori

Percobaan konfirmatori dilakukan dengan menggunakan kombinasi optimal untuk tiap faktor kendali yaitu *material feed* sebesar 390 ton/jam, *coal kiln feed* sebesar 38 ton/jam, suhu sebesar 1080°C, dan *kiln speed* sebesar 3,8%. Percobaan konfirmatori dilakukan

ISBN 978-602-73461-8-5

sebanyak 30 kali replikasi. Dilakukan perhitungan untuk mengetahui apakah terdapat penurunan *mean,* variansi, dan simpangan baku dibandingkan sebelum ditetapkan kombinasi optimal untuk faktor kendali. Tabel 13 merangkum perbandingan antara *mean*, variansi, dan simpangan baku dari hasil percobaan konfirmatori dan sebelum dilakukan optimalisasi.

Tabel 13 Perbandingan emisi NO_x dan SO_2 sebelum dan sesudah menggunakan kombinasi optimal

Parameter	NO_X		SO_2	
	Sebelum	**Sesudah**	**Sebelum**	**Sesudah**
Mean	581,537	547,124	276,771	140,804
Variansi	9894,92	3656,43	47550,4	1286,08
Simpangan Baku	99,473	60,468	218,061	35,862

Tabel 14 Perbandingan Uji T emisi NO_x dan SO_2 sebelum dan sesudah menggunakan kombinasi optimal

Emisi	α	T Hitung	T Tabel	Keterangan
SO_2	0,05	1,708	2,045	Tidak Berbeda Signifikan
	0,1		1,699	Berbeda Signifikan
NO_X	0,05	3,369	2,045	Berbeda Signifikan
	0,1		1,699	Berbeda Signifikan

Terdapat penurunan *mean*, variansi, dan simpangan baku antara sebelum menggunakan kombinasi optimal dan sesudah menggunakan kombinasi optimal. Pada emisi NOx terjadi penurunan variansi sebesar 97,30%, dan simpangan baku sebesar 83,55%. Sedangkan pada emisi SO_2 terjadi penurunan variansi sebesar 63,05%, dan simpangan baku sebesar 39,21%. Uji T untuk emisi NO_x perbedaan yang terjadi tidak signifikan antara sebelum dan sesudah menggunakan level optimal untuk parameter proses pada $\alpha = 0,05$ karena nilai T hitung kurang dari T tabel, yaitu $1,708 < 2,045$. Namun untuk $\alpha = 0,10$, emisi NO_x berbeda signifikan karena nilai T hitung lebih dari T tabel, yaitu $1,708 > 1,699$. Untuk emisi SO_2 terjadi perbedaan yang signifikan antara sebelum dan sesudah menggunakan level optimal untuk parameter proses pada $\alpha = 0,05$ karena nilai T hitung lebih dari T tabel, yaitu $3,369 > 2,045$.

4. Kesimpulan dan Saran

a. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan serta menjawab tujuan penelitian, makan kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Untuk menekan emisi SO_2 dan NO_x secara serentak dapat digunakan kombinasi level terbaik dari tiap faktor kendali yang ada. Perhitungan kombinasi level faktor kendali yang sesuai digunakan *Taguchi Loss Function* dengan karakteristik *Smaller the Better* (s.t.b). Didapatkan kombinasi optimal untuk menekan emisi SO_2 dan NO_x secara serentak berupa penggunaan level 1 untuk faktor kendali *material feed* yaitu sebesar 390 ton/jam, penggunaan level 3 untuk faktor kendali *coal feed* yaitu sebesar 38 ton/jam, penggunaan level 2 untuk suhu yaitu sebesar 1080°C, dan penggunaan level 1 untuk faktor kendali *kiln speed* yaitu sebesar 3,8%. Hasil penelitian ini dapat digunakan pada kondisi penggunaan bahan bakar berupa batu bara berjenis *sub-bituminous B* yang kandungan sulfurnya sedang yang penyimpanannya berada pada *storage* dengan suhu tertentu, bukan disimpan pada ruang terbuka.

ISBN 978-602-73461-8-5

2) Variabel yang memiliki kontribusi terbesar pada penghasilan emisi SO_2 dan NO_x adalah *coal feed* dengan persentase kontribusi sebesar 38,070%. Variabel yang memiliki kontribusi besar selanjutnya adalah *material feed* dengan persentase kontribusi sebesar 32,718%.
3) Terdapat perbedaan signifikan pada emisi SO_2 dan NO_X sebelum dan sesudah menggunakan kombinasi optimal. *Mean,* variansi, dan simpangan baku dari emisi SO_2 dan NO_x pada PT Sinar Tambang Arthalestari mengalami penurunan. Pada emisi NO_x terjadi penurunan *mean* sebesar 5,92%, variansi sebesar 97,30%, dan simpangan baku sebesar 83,55%. Sedangkan pada emisi SO_2 terjadi penurunan *mean* sebesar 49,13%, variansi sebesar 63,05%, dan simpangan baku sebesar 39,21%.

b. Saran

Saran yang dapat disampaikan penulis untuk pengembangan penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1) Pada penelitian ini hanya dihasilkan kombinasi optimal dan besar kontribusi dari masing-masing faktor kendali yang ada yaitu *material feed, coal feed,* suhu, dan *kiln speed* dari proses produksi *Portland Pozzolan Cement* agar emisi SO_2 dan NO_x dapat dikurangi. Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar dapat mengetahui lebih detail lagi mengenai faktor kendali yang berpengaruh selain keempat faktor tersebut.
2) Penelitian selanjutnya sebaiknya mempertimbangkan adanya faktor *noise* dan intertaksi antar faktor.
3) Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan analisis sensitivitas dengan penggunaan jenis batu bara yang berbeda.

Daftar Pustaka

Belavendram, N., 1995, *Quality by Design,* Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017, Peraturan Menteri Nomor P.19/MENLHK/SETJEN/KUM.1/2/2017 Tentang Baku Mutu Emisi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Semen. Republik Indonesia.

Nian, C. Y., Yang, W. H., Tarng, Y. S., 1999, Optimization of turning operations with multiple performance characteristics, *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 95 pp. 90-96.

Soejanto, I., 2009, *Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi,* Graha Ilmu, Yogyakarta.

Susana, H. D., Sunaryo, S., 2012, Optimasi Multirespon Metode Taguchi dengan Pendekatan Quality Loss Function (Studi Kasus Proses Pembakaran CO dan Temperatur Gas Buang Pada Boiler di PLTU Paiton Swasta Phase II), *Jurnal Sains dan Seni ITS,* Vol. 1 pp. 31-36.

Wiharja, 2002, Identifikasi Kualitas Gas SO2 di Daerah Industri Pengecoran Logam Ceper. *Jurnal Teknologi Lingkungan,*Vol. 3 pp. 251-255.

Zaenuri, 2011, Dampak Pengoperasian Industri Terhadap Kualitas Udara dan Kebisingan di Kawasan Simongan Kota Semarang. *Jurnal Sains dan Teknologi,* Vol. 9.

ISBN 978-602-73461-8-5

Integrasi Simulasi *Monte Carlo* dan Sistem Dinamis dalam Merumuskan Kebijakan Persediaan Bahan Baku Model P *Backorder*

Asep Ridwan, Evi Febianti, Maulana Bagus R
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jendral Sudirman Km.3 Kota Cilegon-Banten 42435
Telp. (0254) 395502 Ext.16
E-mail: asep.ridwan@untirta.ac.id

Intisari

PT ABC merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang manufaktur pembuatan baja yang salah satunya terdapat divisi SSP. Divisi SSP menghasilkan produk baja slab yang salah satu bahan bakunya adalah scrap. Permintaan perusahaan ini bersifat probabilistik dan dinamis, dimana tingkat pemakaian bahan baku tiap tahun tidak tetap dan menyebabkan persediaan bahan baku yang berlebihan atau kekurangan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kebijakan persediaan bahan baku model P backorder dengan integrasi simulasi Monte Carlo dan Sistem Dinamis. Penelitian ini menggunakan sistem persediaan probabilistik model P untuk menentukan biaya minimum dengan waktu antar pemesanan yang tetap. Penentuan kebijakan persediaan dilakukan berdasarkan interval waktu pemesanan, safety stock, dan kapasitas maksimum serta membandingkan ongkos total persediaan eksisting dengan simulasi Monte Carlo. Simulasi sistem dinamis dilakukan untuk meyakinkan bahwa kebijakan persediaan model P backorder dapat diterapkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total persediaan dengan simulasi Monte Carlo lebih baik dari ongkos total tanpa Monte Carlo sebesar Rp.299.837.846.308 dengan interval waktu pemesanan 0,05227 tahun atau 19 hari, kapasitas inventori maksimum sebesar 51806,12 ton dan safety stock sebesar 43549,96 ton. Dari hasil ongkos total persediaan dengan simulasi sistem dinamis dilakukan perbandingan dengan menggunakan one sample T-test. Dari hasil tersebut didapatkan bahwa tidak ada perbedaan secara statistik antara hasil simulasi sistem dinamis dengan hasil dari perhitungan model P backorder sehingga kebijakan model P backorder dapat diterapkan pada PT ABC untuk menentukan biaya minimum persediaan.

Kata kunci: Persediaan, Model P Backorder, Monte Carlo, Sistem Dinamis

1. Pendahuluan

Pada umumnya setiap perusahaan selalu mempunyai persediaan bahan baku dalam keadaan dan jumlah yang berbeda-beda untuk mendukung kelancaran proses produksinya. Sekarang ini masih banyak perusahaan melakukan persediaan tanpa memperhitungkan perencanaan sehingga dapat mempengaruhi biaya operasional. Penentuan jumlah persediaan dan persediaan cadangan (*safety stock*) untuk mengantisipasi timbulnya lonjakan jumlah permintaan hanya ditentukan dengan perkiraan. Perencanaan persediaan tanpa perhitungan akan berpengaruh terhadap total biaya yang dikeluarkan untuk mengadakan persediaan. Oleh sebab itu, perusahaan harus bisa mengelola persediaan dengan baik (Ernawati dan Sunarsih, 2008). Persediaan atau inventori didefinisikan sebagai sumber daya yang menganggur (*idle resource*) yang keberadaannya menunggu proses lebih lanjut. Proses yang dimaksud yaitu kegiatan-kegiatan yang dilakukan setelah sumber daya

ISBN 978-602-73461-8-5

tersebut tersedia, contohnya kegiatan produksi pada sistem manufaktur, kegiatan pemasaran pada sistem distribusi dan lain-lain (Bahagia, 2006). Keberadaan inventori haruslah diatur dengan dengan optimal sehingga kelancaran pemenuhan pemakai dapat terjamin dengan baik namun dengan pengeluaran yang sekecil mungkin.

Sebagaimana model probabilistik sederhana, permasalahan kebijakan inventori yang akan dipecahkan dengan model inventori probabilistik model P berkaitan dengan penentuan besarnya stok operasi (*operating stock*) dan cadangan pengamannya (*safety stok*). Secara lebih spesifik permasalahan pokok ini dijabarkan ke dalam tiga pertanyaan dasar yang akan menjadi fokus untuk di jawab di dalam model ini, yaitu:

1. Berapa selang interval waktu tetap yang akan digunakan untuk setiap kali pemesanan (T)?
2. Berapakah ukuran lot pemesanan (q_0)?
3. Berapa besarnya cadangan pengaman (ss)?

Pada prinsipnya model P ini merupakan pengembangan lebih lanjut dari model probabilistik sederhana, yaitu dengan tidak menetapkan terlebih dahulu tingkat pelayanannya. Dalam hal ini tingkat pelayanan justru akan ditentukan secara simultan dengan optimasi ongkosnya. Formulasi model P diturunkan berdasarkan sejumlah asumsi serta mekanisme tertentu. Selain itu model P juga memiliki karakteristik khusus yang mencirikan model ini dibandingkan model-model lainnya (Bahagia, 2006). Penelitian tentang persediaan bahan baku probabilistik model P telah banyak dilakukan (Wulandari, 2011 dan Riyani, 2015). Mereka melakukan penelitian persediaan bahan baku dengan menggunakan model P *backorder* untuk menentukan interval waktu dalam pemesanan bahan baku untuk mendapatkan biaya terendah dalam pengadaan persediaan.

Model matematis dirancang untuk membuat atau menentukan ongkos total persediaan, interval waktu pemesanan, kapasitas maksimum dan *safety stock*. Fungsi tujuan pada penelitian ini untuk mengetahui ongkos total persediaan optimum. Ongkos total persediaan terdiri dari ongkos beli (O_b), ongkos pengadaan per tahun (O_p), ongkos simpan per tahun (O_s) dan ongkos kekurangan inventori per tahun (O_k). Berikut rumus yang digunakan:

1. Ongkos Pembelian (O_b)
   Ongkos beli barang O_b merupakan perkalian antara jumlah barang yang dibeli (D) dengan harga barang per unitnya (p), secara matematis dituliskan sebagai berikut.
   $$O_b = D \times P \quad \ldots\ldots(1)$$
2. Ongkos Pengadaan (O_p)
   Ongkos pengadaan per tahun (O_p) dapat dinyatakan sebagai berikut.
   $$O_p = \frac{A}{T} \quad \ldots\ldots(2)$$
   di mana : A = ongkos setiap kali pesan
   T = interval waktu antar pemesanan
3. Ongkos Simpan(O_S)
   Dalam kasus ini kekurangan inventori dapat dipenuhi, kemudian secara matematis dengan *backorder* memungkinkan nilai s berharga negatif sehingga ekspetasi harga s adalah.
   $$O_s = (R - D_L - \frac{TD}{2}) \times h \quad \ldots\ldots(3)$$
   di mana : R = inventori maksimum yang diharapkan
   D_L = ekspetasi permintaan selama L periode
   T = interval waktu antar pemesanan
   D = ekspektasi permintaan selama horizon perencanaan
   h = ongkos simpan per unit per tahun

ISBN 978-602-73461-8-5

4. Ongkos Kekurangan Inventori (O_k)
   Dalam model P kekurangan inventori kemungkinan dapat terjadi setiap saat. Untuk menghitung ongkos kekurangan inventori dapat didasarkan atas kuantitas barang yang kurang. Jika ongkos kekurangan setiap satu unit barang sebesar π, ongkos kekurangan inventori per tahun (O_K) adalah:

   $$O_K = \frac{C_u N}{T} \quad \text{.....(4)}$$

   di mana : Cu = ongkos kekurangan inventori setiap unit barang (Rp. per unit)

   N = jumlah unit *lost sales* per siklus
   T = interval waktu antar pemesanan

5. Ongkos Total (O_T)
   Ongkos total dalam pengadaan inventori adalah kumulatif dari biaya biaya yang dihitung sebelumnya. Sehingga ongkos total dalam pengadaan inventori sebagai berikut:

   $$O_T = O_b+O_p+O_s+O_k \quad \text{.....(5)}$$

Simulasi *Monte Carlo* merupakan bentuk simulasi probabilistik dimana solusi dari suatu masalah diberikan berdasarkan proses *random* (acak). Proses acak ini melibatkan suatu distribusi probabilitas dan variabel – variabel data yang dikumpulkan berdasarkan data masa lalu maupun distribusi probabilitas teoritis. Bilangan acak digunakan untuk menjelaskan kejadian acak setiap waktu dari variable acak dan secara berurutan mengikuti perubahan-perubahan yang terjadi dalam proses simulasi (Siregar, 2013). Metode simulasi *Monte Carlo* adalah suatu metode untuk mengevaluasi suatu model deterministik yang melibatkan bilangan acak sebagai salah satu input. Metode ini sering digunakan jika model yang digunakan cukup kompleks, non linear atau melibatkan lebih dari sepasang parameter tidak pasti. Pada beberapa kasus, metode ini menggunakan proses iterasi yang melibatkan sejumlah kalkulasi besar guna meningkatkan reabilitas hasil simulasi secara statistik. Metode *Monte Carlo* dapat diterapkan pada kasus-kasus yang berkaitan dengan data pengamatan kontinyu maupun diskrit. Penelitian dengan simulasi *Monte Carlo* antara lain (Pritama, 2013; Prasetyowati, 2016; dan Aulia dkk., 2017). Prasetyowati (2016) dalam mengaplikasikan persediaan teri *crispy* dalam mengelola usahanya terutama masalah kuantitas produksi dengan lebih terencana sehingga menghasilkan sistem produksi yang nantinya lebih terstruktur dan optimal. Aulia dkk. (2017) dalam perencanaan persediaan barang koperasi dan Pritama (2013) dalam perencanaan persediaan gudang.

Sistem dinamis adalah metode untuk mendeskripsikan, memodelkan, dan mensimulasikan suatu sistem yang kompleks dari waktu ke waktu. Menurut Sterman (2000), langkah-langkah dalam merancang dan membangun sebuah model sistem dinamis untuk masalah nyata adalah sebagai berikut : i) mendefinisikan permasalahan (*problem definition*); menentukan variabel kunci dalam model (*identifying key variables*); mengembangkan model referensi (*developing the reference model*); mengembangkan *causal loop diagram*; dan merancang *stock flow diagram.* Simulasi sistem dinamis banyak dilakukan dalam melakukan penelitian dalam persediaan seperti Horas (2012) dalam menentukan kebijakan persediaan model P menggunakan simulasi sistem dinamis. Ridwan dan Noche (2018) merancang model ukuran kinerja persediaan di pelabuhan dengan integrasi six sigma dan sistem dinamis. Ridwan, dkk (2017) meminimasi waktu tunggu kapal di pelabuhan dengan pendekatan simulasi sistem dinamis.

PT ABC merupakan perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur dalam pembuatan baja. PT ABC mempunyai beberapa divisi yang menghasilkan produk yang berbeda, salah satunya adalah divisi SSP (*Slab Steel Plant*) yang menghasilkan baja *slab.*

ISBN 978-602-73461-8-5

Setiap proses produksinya, tingkat pemakaian bahan baku pada setiap bulan di divisi SSP tidak tetap. Untuk melakukan pengadaan persediaan kembali, perusahaan melakukan asumsi lapangan tanpa menggunakan model matematis yang terstruktur jelas. Pengadaan persediaan yang terlalu besar atau kecil dapat menimbulkan masalah bagi perusahaan yang mengacu pada biaya-biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk persediaan.

Berdasarkan studi literatur dan kondisi yang ada di perusahaan, penelitian yang mentegrasikan simulasi Monte Carlo dan Sistem dinamis dalam menentukan kebijakan persediaan model P masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merencanakan kebijakan persediaan model P *backorder* dengan mengintegrasikan simulasi *Monte Carlo* dan simulasi sistem dinamis. Penelitian ini meliputi *interval* waktu pemesanan (T), kapasitas maksimum yang dimiliki (R) dan persediaan pengaman (*safety stock*) serta menghasilkan biaya persediaan bahan baku optimum antara perhitungan manual dan simulasi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dan merancang kebijakan persediaan bahan baku optimal berdasarkan *interval* waktu pemesanan, kapasitas maksimum inventori*, safety stock* dan ongkos total pengadaan berdasarkan Model P backorder menggunakan simulasi *Monte Carlo* dan sistem dinamis.

2. Metode

Penelitian ini mengintegrasikan simulasi Monte Carlo dan sistem dinamis dalam menentukan kebijakan persediaan Model P backorder. Kebijakan dengan metode Model P backorder dalam pengadaanya dengan *interval* waktu dan *lead time* yang tetap namun lot pemesanannya berbeda. Kemudian dilakukan simulasi probabilistik dan simulasi sistem dinamis untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi dalam meminimalkan ongkos persediaan.

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah menentukan rata-rata *demand* dan *standar deviasi* dari data historis selama 5 tahun dan selanjutnya menentukan harga-harga yang dibutuhkan yaitu ongkos pesan, harga beli/ton, ongkos simpan/ton dan ongkos kekurangan/ton dan *lead time* yang dibutuhkan. Setelah mendapatkan ongkos total, selanjutnya melakukan *trial and error* dengan menambah atau mengurangi *interval* waktu hingga mendapatkan ongkos total terkecil.

Tahap kedua adalah melakukan simulasi probabilistik *Monte Carlo.* Pada tahap ini melakukan simulasi dengan membangkitkan angka random yang kemudian mendapatkan hasil *demand* dari simulasi. *Demand* yang didapat dari hasi simulasi *Monte Carlo* kembali dimasukan ke dalam hasil perhitungan Model P backorder dan kembali mencari ongkos total persediaan yang paling terkecil. Tahap ketiga adalah melakukan simulasi sistem dinamis dengan menggunakan *software* powersim. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui aliran pemesanan bahan baku dan faktor yang mempengaruhinya. Tahap terakhir adalah melakukan validasi antara hasil perhitungan Model P, simulasi *Monte Carlo* dan simulasi sistem dinamis dengan menggunakan *software* powersim untuk mengetahui apakah hasil perhitungan yang dilakukan dapat diterapkan pada sistem nyata atau tidak.

3. Hasil dan Pembahasan

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data permintaan selama 5 tahun dan komponen biaya yang dibutuhkan seperti ditunjukkan dalam Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Data kebutuhan *scrap import* per tahun

Tahun	Jumlah (Ton)
2017	62254,6
2016	46331,69

ISBN 978-602-73461-8-5

Tahun	Jumlah (Ton)
2015	78252,48
2014	59478,33
2013	96641,13

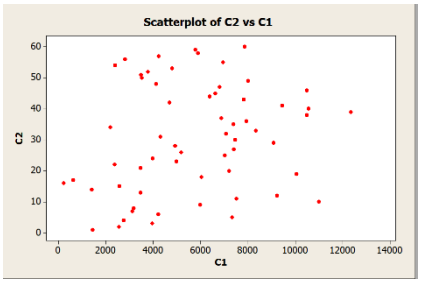
Sumber : PT ABC

Sedangkan data biaya adalah sebagai berikut:

a) Biaya pesan (A) : Rp.100.000.000/pesan
b) Biaya Beli (P) : Rp.4.328.000/ton
c) Biaya Simpan (h) : Rp.423.800 ton/tahun
d) Biaya Kekurangan (Cu) : Rp.5.193.600/ton
e) *Lead Time* (L) : 1 Bulan

3.1. Pengolahan Data

Berikut ini merupakan *Uji Scatter Plot* yang dilakukan dalam penelitian ini seperti ditunjukkan dalam gambar 1.



Gambar 1 *Scatter Plot* dari permintaan yang ada *(demand existing)*

Berdasarkan gambar 1 di atas diketahui bahwa titik-titik tersebut menyebar dengan pola yang tidak jelas dan tidak teratur di pada sumbu Y dan tidak mengumpul di satu titik sehingga data dikatakan homogen dan tidak saling berkaitan dengan yang lainnya.

1. Uji Kenormalan *Demand Existing*

Berikut ini merupakan perhitungan uji nomalitas data menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* .

Tabel 2 Uji kenormalan *demand existing*

No	x	Fn(x)	Z	F(x)	D
1	62254,6	0,2	-0,327372	0,3707	0,1707
2	46331,69	0,4	-1,149951	0,1251	0,2749
3	78252,48	0,6	0,4990794	0,7224	0,1224
4	59478,33	0,8	-0,470795	0,3192	0,4808
5	96641,13	1	1,4490384	0,9265	0,0735
Rata-rata	**68591,65**	**Dα = 0,563**			
Stdev	**19357,31**	**kes: Normal**			

Dari perhitungan yang telah dilakukan, diketahui bahwa nilai D hitung sebesar 0,1707 sedangkan nilai D tabel sebesar 0,563. Sehingga $D < D_{\alpha} = 0,1707 < 0,563$. Artinya H_0 diterima sehingga data sampel berdistribusi normal.

ISBN 978-602-73461-8-5

2. Model P *Backorder* tanpa *Monte Carlo*
Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil perhitungan matematis Model P *Backorder* :

Tabel 3 Rekapitulasi perhitungan Model P *Backorder* tanpa *Monte Carlo*

Ket	T0	R (ton)	N (ton)	ss (ton)	OT
iterasi 0	0,082	30634,33	111,51	19288,38	Rp314.705.648.471
iterasi 1	0,098	32282,09	131,40	19810,14	Rp314.844.751.896
iterasi 2	0,065	29273,42	82,67	19053,46	Rp314.147.809.180
iterasi 3	0,049	27772,01	61,46	18678,05	Rp314.191.675.556
iterasi 4	0,057	28541,34	70,45	18884,38	Rp313.999.587.006
iterasi 5	0,073	29970,44	95,93	19187,49	Rp314.364.130.238
iterasi 6	0,032	26441,11	37,34	18473,15	Rp314.300.047.418
iterasi 7	0,114	33852,08	152,38	24132,59	Rp315.093.576.053
iterasi 8	0,106	32865,36	149,19	23627,73	Rp315.229.905.846
iterasi 9	0,024	25849,54	28,30	18444,58	Rp315.243.612.301

Pada iterasi ke-4 didapatkan ongkos terkecil sebesar Rp.313.999.587.006 dengan interval waktu pemesanan 0,05746 tahun atau 21 hari, kapasitas inventori maksimum sebesar 28541,35 ton dan *safety stock* sebesar 18884,39 ton.

3. Model Bahan Baku *Monte Carlo*
Berikut ini merupakan perhitungan model bahan baku dengan simulasi *Monte Carlo*:

Tabel 4 Perhitungan model bahan baku dengan *Monte Carlo*

No	Simulasi (u)	T	P (t)	q(t)	Φ^{-1}	x
1	0,015527	2,886224	6,553615	12,1836	-2,34832	16797,46
2	0,232814	1,707347	3,129258	3,91134	-0,9073	28768,81
3	0,600863	1,355324	2,35722	2,426878	0,384027	85686,2
4	0,353876	1,441395	2,536033	2,752335	-0,51998	49412,85
5	0,885893	2,083564	4,077139	5,969369	1,400554	123752,1

Contoh Perhitungan:
U = Nilai random simulasi
D = Permintaan bahan baku *existing*
S = 19357, 31

ISBN 978-602-73461-8-5

a. Menentukan nilai acak *N* (0,1) (T)
Nilai T adalah data acak yang bergantung pada nilai U.
$T = \sqrt{-2\ln(1-u)}$
$T = \sqrt{-2\ln(1-0{,}015527)}$
T = 2,886224

b. Menentukan nilai p(t) dan q(t)
Nilai p(t) dan q(t) merupakan rasio dari dua *polynomial* di T.
$p(t) = 0{,}322232431088 + (2{,}886224) + (0{,}342242088547)(2{,}886224)^2 + (0{,}0204231210245)(2{,}886224)^3 + (0{,}0000453642210148)(2{,}886224)^4$
= 6,553615
$q(t) = 0{,}099348462606 + (0{,}588581570495)(2{,}886224) + (0{,}531103462366)(2{,}886224)^2 + (0{,}1035377528)(2{,}886224)^3 + (0{,}0038560700634)(2{,}886224)^4$
= 12,1836

c. Menghitung nilai *invers* dari dua *polynomial* Φ^{-1} (u)
Karena nilai u < 0,5 maka digunakan persamaan berikut.
$\Phi^{-1}(u) = -t + \frac{p(t)}{q(t)}$
$\Phi^{-1}(u) = -2{,}886224 + \frac{6{,}553615}{12{,}1836}$
= -2,34832

d. Menghitung *demand* simulasi (x)
X= 62254,6 + (19357,31)(-2,34832)
= 16797,46

5. Validasi *Demand* Simulasi dengan *Demand Existing*

Dari hasil uji *paired two sample t-test* diketahui bahwa nilai t hitung < t tabel yaitu 0,6326 2,1318 dan nilai *P-Value* > α yaitu 0,280 > 0,05. Sehingga dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima, artinya tidak ada perbedaan antara *demand* simulasi dengan *demand existing*.

6. Model P *Backorder* dengan *Monte Carlo*

Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil perhitungan matematis Model P *Backorder* dengan *Monte Carlo* :

Tabel 5 Rekapitulasi perhitungan Model P *Backorder* dengan *Monte Carlo*

Ket	T0	R (ton)	N (ton)	ss (ton)	OT
iterasi 0	0,087	56491,41	200,09	46113,57	Rp300.667.992.533
iterasi 1	0,104	57953,27	268,93	47463,87	Rp302.669.109.941
iterasi 2	0,069	51296,68	237,57	41979,68	Rp306.154.477.937
iterasi 3	0,052	51806,11	119,84	43549,96	Rp299.837.846.308
iterasi 4	0,034	50109,88	78,14	42914,51	Rp299.964.602.102
iterasi 5	0,043	50633,67	103,36	42907,94	Rp300.349.415.087
iterasi 6	0,095	57258,60	231,75	46350,34	Rp301.569.783.511
iterasi 7	0,078	54767,08	194,91	44919,66	Rp301.391.821.087
iterasi 8	0,027	49111,47	64,97	42345,28	Rp300.968.168.762

ISBN 978-602-73461-8-5

Ket	T0	R (ton)	N (ton)	ss (ton)	OT
iterasi 9	0,113	59549,93	275,09	47580,83	Rp302.240.532.257

Pada iterasi ke-3 didapatkan ongkos terkecil sebesar Rp299.837.846.308 dengan interval waktu pemesanan 0,05227 tahun atau 19 hari, kapasitas inventori maksimum sebesar 51806,12 ton dan *safety stock* sebesar 43549,96 ton.

7. Perbandingan Hasil Perhitungan Model P Tanpa *Monte Carlo* dan Dengan *Monte Carlo*

Berikut ini merupakan perbandingan dari hasil perhitungan Model P yang sudah dilakukan:

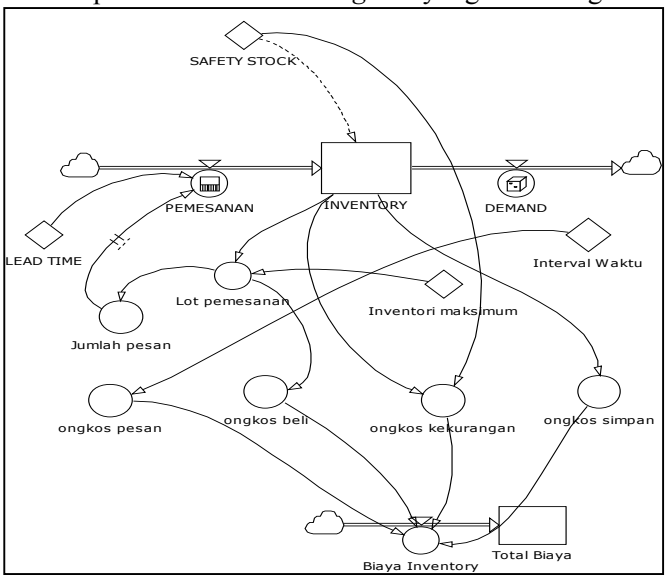
Tabel 6 Perbandingan hasil perhitungan Model P

	Model P Tanpa *Monte Carlo*	**Model P Dengan *Monte Carlo***
Interval Waktu (tahun)	0,05746	0,05227
Kapasitas Maksimum (ton)	28541,349	51806,11645
Safety Stock (ton)	18884,386	43549,96401
Biaya Total	Rp.313.999.587.006	Rp299.837.846.308

8. Simulasi Sistem Dinamis

a. Pengembangan *Stock Flow Diagram*

Berikut ini merupakan *Stock Flow Diagram* yang dirancang:



Gambar 2 *Stock Flow* diagram usulan

b. Hasil Simulasi Sistem Dinamis

Berdasarkan simulasi yang dilakukan menggunakan *software powersim* 2010 didapatkan hasil simulasi total biaya inventori sebagai berikut. Replikasi awal ditentukan sebanyak 10 kali.

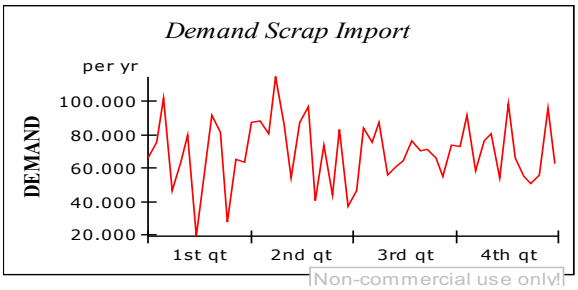
1. Total Biaya Inventori Model P Tanpa *Monte Carlo*

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 7 Replikasi simulasi total biaya inventori tanpa *Monte Carlo*

No	Hasil Replikasi Total Biaya Inventori
1	Rp314.319.909.263
2	Rp317.391.189.567
3	Rp322.819.752.443
4	Rp313.644.861.864
5	Rp320.326.134.858
6	Rp313.662.683.690
7	Rp331.495.679.002
8	Rp308.700.701.668
9	Rp336.526.902.270
10	Rp319.019.549.120

Berikut ini merupakan gambar grafik *demand scrap import tanpa monte carlo* yang di peroleh dari software Powersim Studio 10.



Gambar 3 *Time graph demand* tanpa *Monte Carlo*

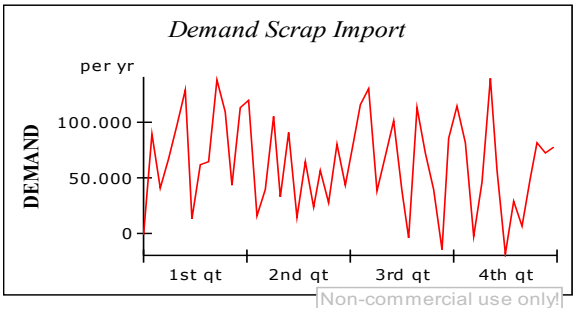
2. Total Biaya Inventori Model P dengan *Monte Carlo*
   Berikut ini adalah hasil replikasi simulasi untuk total biaya inventori Monte Carlo.

Tabel 8 Replikasi simulasi total biaya inventori *Monte Carlo*

No	Hasil Replikasi Total Biaya Inventori
1	Rp290.528.629.125
2	Rp306.673.760.671
3	Rp282.958.921.698
4	Rp292.734.293.099
5	Rp316.432.627.506
6	Rp300.857.132.189
7	Rp322.021.776.645
8	Rp304.215.077.065
9	Rp289.834.147.108
10	Rp303.711.372.388

Berikut ini merupakan gambar grafik *demand scrap import Monte Carlo* yang di peroleh dari software Powersim Studio 10.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 4 *Time Graph Demand Monte Carlo*

9. Uji Validasi Model Simulasi Tanpa *Monte Carlo*
   Perumusan hipotesis :
   H_0 = Tidak ada perbedaan antara ongkos total simulasi dengan ongkos total *existing*
   H_1 = Ada perbedaan antara ongkos total simulasi dengan ongkos total *existing*

Tabel 9 Uji Validasi *One Sample T-Test*

Uji Validitas *One Sample T-Test*	
Test Value 313999587006	
rata rata	319790736375
Stdev	8571028057
n	10
t-hitung	2,136642437
t-tabel	2,262157163

Sehingga dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima dengan nilai t hitung < t tabel yaitu 2,136 < 2,262. Artinya tidak ada perbedaan antara ongkos total simulasi dengan ongkos total *existing*. Uji Validasi Model Simulasi Dengan *Monte Carlo.*

H_0 = Tidak ada perbedaan antara ongkos total simulasi dengan ongkos total *existing*
H_1 = Ada perbedaan antara ongkos total simulasi dengan ongkos total *existing*

Tabel 10 Uji validasi *One Sample T-Test*

Uji Validitas *One Sample T-Test*	
Test Value 299837846308,431	
rata rata	300996773749
Stdev	12284179115
t-hitung	0,298339052
t-tabel	2,262157163

Berdasarkan perhitungan uji validasi *one sample t-test,* didapatkan bahwa nilai t hitung < t tabel yaitu 0,298 < 2,262. Artinya tidak ada perbedaan antara ongkos total simulasi dengan ongkos total *existing*.

4. Kesimpulan dan Saran

1. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Model P backorder *Existing* didapatkan pengadaan bahan baku *scrap import* adalah interval waktu pemesanan selama 0,05746 atau 21 hari, kapasitas maksimum perusahaan sebesar 28.541,33

ISBN 978-602-73461-8-5

ton, *safety stock* sebesar 18.884,38 ton dan ongkos total pengadaan sebesar Rp.313.999.587.006.

2. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Model P backorder dengan simulasi *Monte Carlo* didapatkan pengadaan bahan baku *scrap import* adalah interval waktu pemesanan selama 0,05227 atau 19 hari, kapasitas maksimum perusahaan sebesar 51.806,11 ton, *safety stock* sebesar 43.549,96 ton dan ongkos total pengadaan sebesar Rp.299.837.846.308.
3. Kebijakan persediaan Model P backorder tanpa *Monte Carlo* didapatkan rata-rata ongkos total sebesar Rp.319.790.736.375 Dari hasil uji validitas, tidak ada perbedaan antara ongkos total simulasi dengan ongkos total perhitungan model P tanpa *Monte Carlo.* Dari hasil simulasi sistem dinamis Model P dengan *Monte Carlo* didapatkan rata-rata ongkos total sebesar Rp.300.996.773.749 dan uji validitas menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan antara ongkos total simulasi dengan ongkos total perhitungan Model P dengan *Monte Carlo.* Oleh karena itu, kebijakan Model P backorder dapat diterapkan untuk meminimalkan biaya pengadaan bahan baku *scrap.*

Daftar Pustaka

Aulia, N.F., Mesran, dan Silalahi, N. 2017. Simulasi Persediaan Barang Pada Koperasi dengan Menggunakan Metode Monte Carlo. *Jurnal INFOTEK*, Vol 2(1) pp.46-48.

Bahagia, S.N., 2006. *Sistem Inventori*. Institut Teknologi Bandung.

Ernawati, Y. dan Sunarsih. 2008. Sistem Pengendalian Persediaan Model Probabilistik dengan Backorder Policy, *Jurnal Matematika*, Vol.11(2).

Hutagaol, T.H. 2011. *Penentuan Kebijakan Persediaan pada Sistem Persediaan Probabilistik dengan Model Q Menggunakan Software Powersim,* Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Pritama, D.R., 2013. *Tugas Akhir: Penentuan Solusi Optimal Persediaan Probabilistik Menggunakan Simulasi Monte Carlo*. Fakultas Ilmu Matematika dan Ilmu Pengetahuam Alam Universitas Riau.

Prasetyowati, E. 2016. Aplikasi Simulasi Persediaan Teri Crispy Prisma Menggunakan Metode Monte Carlo. *Jurnal Sistem dan teknologi Informasi Indonesia*, Vo.1(01).

Ridwan, A., Kulsum, Murni S. 2017. Pengukuran Dasar Kinerja Aliran Rantai Pasok dengan Pendekatan Metode Lean Six Sigma Supply Chain Management, *Jurnal Industrial Services*, Vol.3(1a).

Riyani, D.D., 2013. Evaluasi Kebijakan Persediaan Probabilistik Menggunakan Model P di PT. X, *Jurnal Teknik Industri Fakultas Teknik UNTIRTA*, Vol.3(1).

Ridwan, A., Ferdinant P.F, Aurelia, 2017. Minimasi Waktu Tunggu Kapal Menggunakan Pendekatan Simulasi Sistem Dinamis, *Prosiding Seminar Nasional ISLI*, Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Ridwan, A. dan Noche, B. Model of the port performance metrics in ports by integration six sigma and system dynamics, *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol.35(1) pp.82-108.

Silaen, H., 2012. *Tugas Akhir: Simulasi Kebijakan Persediian Optimal Pada Sistem Persediaan Probabilistik Model P Menggunakan Powersim*. Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Siregar, L., 2013. *Tugas Akhir:Pengendalian Persediaan Bahan Baku di PT ABC dengan Menggunakan Model Q Backorder Menggunakan Simulasi Monte* Carlo. Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

ISBN 978-602-73461-8-5

Wulandari, D.A., 2011. *Tugas Akhir: Penentuan Waktu Antar Pemesanan Bahan Baku Timah dengan Permintaan Probabilistik Menggunakan Model P*. Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

ISBN 978-602-73461-8-5

Strategi Pengambilan Keputusan Penjualan Dalam Rangka Optimasi Profit Industri Ritel Berbasis *Unsupervised Machine Learning Algorithm* (Studi Kasus *Modern Minimarket-X*)

Bagus Prabowo Aji, Muh.Arif Wibisono
Program Studi Teknik Industri, Departemen Teknik Mesin dan Industri,
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl.Grafika No.2, Yogyakarta 55281
Telp: +62-274-521673
b4gus.prabowoaji@gmail.com

Intisari

Dalam industri ritel khususnya minimarket, pihak manajemen selalu ingin meningkatkan keuntungan dengan mendorong penjualan berbagai jenis produk yang diminati oleh konsumen. Penelitian ini mengambil kasus di Modern Minimarket yang berlokasi di Kota Yogyakarta. Data dari PoS selama enam bulan menunjukkan pola penjualan produk cenderung meningkat di akhir tahun, dan minggu tertentu. Studi ini bertujuan untuk menentukan strategi pengambilan keputusan penjualan dalam rangka optimasi profit, dengan mempertimbangkan ragam produk minuman yang sesuai dengan selera konsumen menggunakan unsupervised machine learning algorithm. Pengolahan data menggunakan algoritma K-means++ menghasilkan 125 jenis produk minuman yang diminati konsumen. Sementara kombinasi penjualan produk minuman hasil association rule dengan nilai confidence tertinggi (100%) masuk dalam kluster produk diminati konsumen, dan ikut dijadikan sebagai rekomendasi dalam pengambilan keputusan penjualan. Strategi pengambilan keputusan penjualan yang direkomendasikan mampu menghasilkan profit sebesar Rp.2.139.800.

Kata Kunci: Industri ritel, modern minimarket, optimasi profit, unsupervised machine learning algorithm, K-Means++, association rule, python scikit-learn, MLxtend

1. Pendahuluan

Berdasarkan data Snapcart Global (2017), pada bulan Januari-Agustus terjadi perubahan tren perilaku belanja konsumen, dimana hampir 60% masyarakat Indonesia lebih memilih berbelanja di Minimarket daripada di Supermarket atau Hypermarket. Sementara itu menurut Yudi. (2017), angka penjualan *Fast-Moving Consumer Goods* (FMCG) melalui minimarket pada periode Januari-Juni 2017 naik 7% jika dibandingkan dengan *Supermarket* dan *Hypermarket* yang hanya mengalami kenaikan sekitar 0.4%. Fenomena ini membuka peluang bagi pelaku industri ritel khususnya *Minimarket* untuk mendongkrak penjualan. Gambar 1 menunjukkan grafik tren tempat berbelanja masyarakat di Indonesia.

ISBN 978-602-73461-8-5

Gambar.1 Grafik tren tempat berbelanja masyarakat di Indonesia.
Sumber: www.snapcart.global/rise-minimarkets-indonesia

Berbeda dengan *Supermarket* dan *Hypermarket*, *Minimarket* memiliki orientasi profit tinggi, dan berfokus pada penjualan produk secara eceran. Menurut Novitasari.T (2017), *Minimarket* adalah suatu bentuk usaha eceran yang menjual berbagai barang dengan pelayanan mandiri, dimana luasnya kurang dari 400 Meter persegi. *Minimarket* umumnya menggunakan sistem *Point of Sales (PoS)* untuk membantu pencatatan transaksi penjualan produk. Disamping itu, dalam menghadapi persaingan bisnis yang semakin ketat, *Minimarket* dituntut untuk memahami perilaku belanja dan selera konsumen (Wibisono, E.M.A, 2012). Chen dan Lin (2007), menyatakan bahwa ketepatan penentuan ragam produk pada rak Minimarket, memberikan efek yang cukup signifikan terhadap pembelian produk oleh konsumen. Oleh karena itu dibutuhkan penelitian yang mampu memanfaatkan data transaksi dari PoS, sehingga dapat membantu pengambilan keputusan penjualan.

Dewasa ini penelitian berbasis teknik *Machine learning* yang memanfaatkan data transaksi dari PoS mulai marak digunakan. Seperti peramalan penjualan pada Walmart (Hansoor dan Patil 2015), dan N*ational Dried Nuts and Fruit Company-Turkey* (Işlek dan Öğüdücü 2015). Studi tersebut memanfaatkan teknik peramalan *time series (Holt's and Winter's method)* berbasis *supervised machine learning* dengan R *programming*, dimana hasil studi menunjukkan peramalan *times series berbasis machine learning* mampu menurunkan *error rate* (MAPE) secara signifikan dari 49% menjadi 17%. Meskipun demikian metode peramalan dengan *time series* belum mampu mengatasi perubahan permintaan pasar secara mendadak. Khattak et al (2010) menganalisa data transaksi penjualan, dan stok barang pada swalayan menggunakan metode *unsupervised machine learning*, dengan teknik *clustering* (K-Means) untuk mengetahui perilaku belanja konsumen. Studi ini membandingkan hasil kluster yang diproses menggunakan *software* weka, dan *XL-miner*. Selain itu, hasil studi juga menunjukkan bahwa sebagian besar konsumen menghabiskan waktu berbelanja pada waktu sore hari antara jam 16.00-18.00. Sementara itu, penelitian mengenai model optimasi pengalokasian produk pada ruang rak displai dilakukan oleh Hwang et al. (2009), dimana pendekatan solusi optimasi menggunakan algoritma genetika yang berfokus pada penentuan variabel keputusan dari keanekaragaman produk, metode pengisian persediaan, area display, serta harga dari setiap produk yang dianggap konstan. Berdasarkan tinjauan pustaka diatas, belum ada penelitian yang membahas mengenai pemanfaatan data POS dalam menentukan strategi pengambilan keputusan penjualan berbasis *unsupervised machine learning* untuk optimasi profit. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu studi yang mampu membahas mengenai hal tersebut.

Penelitian ini mengambil studi kasus *Modern Minimarket-X* yang berlokasi di Kota Yogyakarta. Data selama enam bulan menunjukkan pola penjualan produk cenderung meningkat diakhir tahun yang mencapai lebih dari dua puluh lima ribu unit, dan didominasi oleh produk minuman dengan berbagai merek. Disamping itu, terjadi perbedaan total transaksi penjualan yang cukup signifikan, dimana transaksi minggu pertama dan ke-empat

ISBN 978-602-73461-8-5

mencapai lima puluh ribu, namun pada minggu ke-dua hanya berada dikisaran sepuluh ribu transaksi. Pihak manajemen juga mencatat, *Modern Minimarket-X* memiliki tiga almari pendingin, dan satu rak untuk meletakkan produk minuman dengan kapasitas tertentu yang belum dimaksimalkan fungsinya. Berdasarkan keterangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menentukan strategi pengambilan keputusan penjualan dalam rangka optimasi profit, dengan mempertimbangkan ragam produk minuman yang sesuai dengan selera konsumen, menggunakan *unsupervised machine learning algorithm*. Harapannya hasil penelitian juga dapat dijadikan rekomendasi dalam mendorong penjualan produk minuman pada waktu tertentu (akhir tahun, minggu pertama dan ke-empat) di *Modern minimarket-X.*

1.1. *Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRIPS-DM)*

Menurut Brown (2014) CRIPS-DM adalah suatu metodologi yang digunakan sebagai proses standar dalam menangani kasus menggunakan pendekatan teknik *data mining*. Metodologi ini memiliki 6 fase utama yaitu:

1. *Business understanding*, artinya memahami tujuan dari suatu kasus menurut sudut pandang bisnis, lalu mengubahnya kedalam perspektif *data mining*.
2. *Data understanding,* yaitu inisialisasi serta eksplorasi data dalam rangka mencari informasi mengenai data.
3. *Data preparation*, merupakan proses mempersiapkan data seperti, pemilihan atribut, pembersihan data, mengatasi *missing data***,** outliers, standardisasi dan transformasi data, sehingga data siap untuk dimodelkan dengan algoritma tertentu.
4. *Modeling*, adalah proses identifikasi pola atau informasi, serta membangun model menggunakan algoritma tertentu.
5. *Evaluation,* memastikan bahwa model yang dibangun tepat dan bermanfaat untuk mencapai tujuan bisnis.
6. *Deployment,* adalah implementasi model yang telah dibangun kedalam bisnis.

1.2. *Machine Learning*

Hackeling (2014) menyatakan, "*machine learning is the design and study of software artifacts that use past experience to make future decision"*. Performa *machine learning* akan meningkat secara adaptif, seiring dengan bertambahnya jumlah data yang diberikan. Disamping itu algoritma pada *machine learning* selalu berusaha menemukan pola alami dalam data, sehingga mampu memberikan hasil prediksi yang lebih baik. Industri ritel dapat menggunakan *machine learning* dengan algoritma tertentu*,* untuk mengetahui serta memprediksi pola perilaku konsumen dalam membeli produk-produk yang ditawarkan. Terdapat dua algoritma dalam *Machine learning* yaitu: S*upervised learning* yang melatih model menggunakan suatu *training data*, sehingga mampu memprediksi suatu label atau *class* tertentu*.* Sebaliknya, teknik *unsupervised learning* tidak melatih model *training data,* namun memiliki kemampuan menemukan pola intrinsik dalam data (Raschka dan Mirjalili 2017).

1.3. *Clustering* (*K-Means*++)

Clustering masuk kedalam algoritma *unsupervised machine learning,* yang berfungsi untuk mengelompokan objek berdasarkan kedekatan jarak antar data atribut tertentu. K-Means cukup populer dan umum digunakan dalam teknik *clustering*. Algoritma ini mengelompokkan objek dengan cara meminimasi jarak *sum of squared* menggunakan fungsi tertentu (misal: e*uclidean distance).* Kelemahan algoritma ini adalah sensitif dengan penentuan pusat kluster yang dapat mempengaruhi keanggotaan tiap kluster. K-Means++ merupakan pengembangan algoritma K-Means. Arthur dan Vassilvitskii (2007) menyatakan, K-Means++ melakukan inisiasi pusat kluster baru dengan menentukan

ISBN 978-602-73461-8-5

probabilitas setiap titik berdasarkan jarak terpendek pusat kluster sebelumnya. Pusat kluster mewakili sifat suatu kelompok data, sekaligus berfungsi menentukan keanggotaan kelompok berdasarkan kemiripan data. Proses *clustering* dinyatakan selesai ketika tidak terdapat perubahan anggota kluster. Keuntungan Algoritma K-Means++ adalah mampu menghindari inisiasi pusat kluster yang buruk, sehingga memberikan hasil keanggotaan kluster yang lebih baik.

1.4. *Association Rule*

Adalah salah satu algoritma yang termasuk dalam *unsupervised machine learning* dan berfungsi untuk menemukan aturan assosiatif pembelian produk. Contoh penerapan *Association Rule* adalah untuk menganalisa berbagai kombinasi pembelian produk *Minimarket,* dimana dengan teknik tersebut pengelola *Minimarket* dapat mengatur posisi penempatan produk, atau menentukan strategi penjualan guna meningkatkan keuntungan usaha. Menurut Han, et al (2011), penting tidaknya suatu aturan assosiatif dapat diketahui dengan dua parameter yaitu, *support* (nilai penunjang) yang merupakan persentase kombinasi item, dan *confidence* (nilai kepastian 0-100%) yang menunjukkan kuatnya hubungan antar *item* dalam aturan assosiatif. Berikut adalah fungsi untuk menentukan nilai *support* dan *confidence:*

$$Support\ (item\ \mathrm{A}) = \frac{\text{cacah transaksi yang mengandung } (item\ \mathrm{A})}{\text{total transaksi}}$$

rumus *support* jika terdapat dua *item*:

$$Support\ (item\ \mathrm{A}, item\ \mathrm{B}) = \frac{\text{cacah transaksi yang mengandung } (item\ \mathrm{A}) \text{ dan } (item\ \mathrm{B})}{\text{total transaksi}}$$

$$Confidence\ (\mathrm{A} \rightarrow \mathrm{B}) = \mathrm{P}\ (\mathrm{A}|\mathrm{B}) = \frac{\text{cacah transaksi yang mengandung } (item\ \mathrm{A}) \text{ dan } (item\ \mathrm{B})}{\text{jumlah transaksi yang mengandug } (item\ \mathrm{A})}$$

1.5. *Python Scikit-learn*

Menurut Pedregosa, et al (2011), scikit-learn adalah modul dengan bahasa pemrogaman python yang mengintegrasikan berbagai algoritma dalam *machine learning*, baik menggunakan metode *supervised,* atau *unsupervised* pada skala menengah. Modul ini dapat diunduh pada *weblink* berikut *http://scikit-learn.sourceforge.net*.

1.6. *Python MLxtend*

Raschka (2018) menyatakan, MLxtend adalah modul dengan bahasa pemrogaman python yang mengimplementasikan berbagai algoritma, serta utilitas untuk *machine learning* dan *data mining.* MLxtend berfokus pada *Application Programming Interface* (API) yang mudah digunakan, intuitif serta sesuai dengan modul berbasis *machine learning* yang lain.

1.7. *Integer Linier Programming*

Adalah suatu model metematika yang berguna dalam mencari solusi optimal untuk mencapai fungsi tujuan yang disesuaikan dengan batasan (*constraint*) tertentu, dimana semua *decision variable* memiliki nilai bilangan bulat (Taylor dan Bernard 2013). Contohnya adalah, dalam studi ini terdapat variabel kapasitas lemari pendingin dan rak, serta suplai minuman (satuan per unit), yang tidak mungkin menggunakan bilangan pecahan sebagai nilai variabel tersebut.

ISBN 978-602-73461-8-5

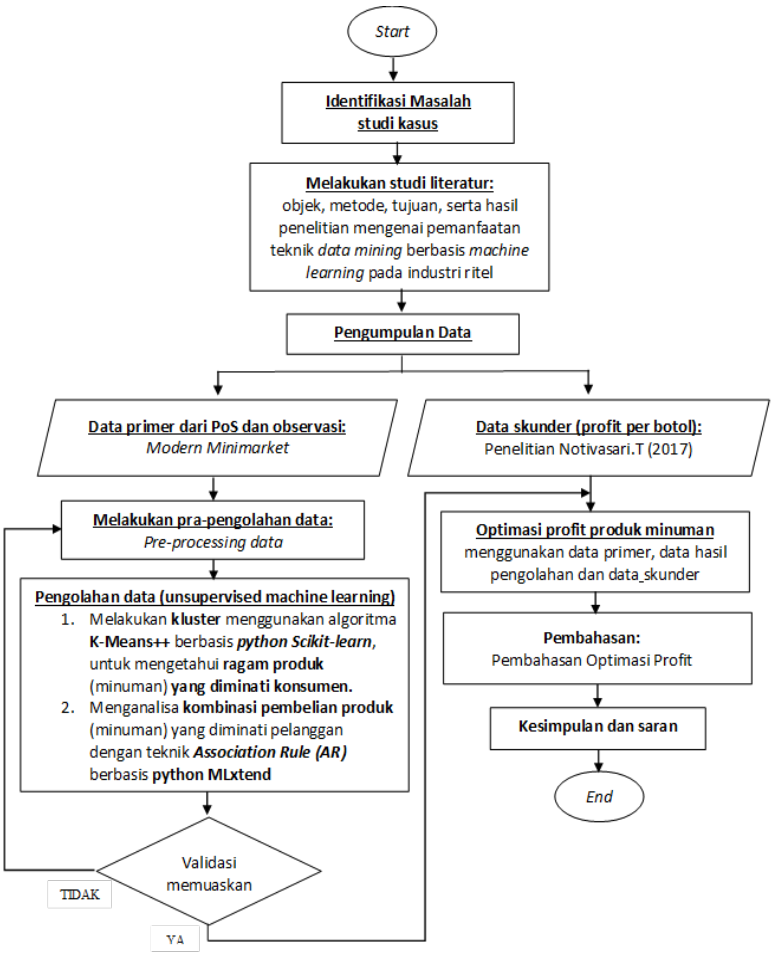
2. Metode

Penelitian diawali dengan latar belakang mengenai prospek usaha Minimarket, serta studi kasus permasalahan pada *Modern Minimarket*. Selanjutnya adalah mencari literatur untuk menentukan konsep penelitian. Setelah mendapatkan teori dan referensi yang cocok, langkah berikutnya adalah mengumpulkan data yang akan digunakan. Dalam kasus disini terdapat dua jenis data. Data primer, yaitu data frekuensi transaksi dan total penjualan produk selama 6 bulan dari *Poin of Sales (PoS),* data observasi berupa jumlah almari pendingin-rak minuman, suplai produk beserta kapasitasnya. Data skunder berupa nominal profit per unit minuman yang didapatkan dari penelitian sebelumnya. Tahapan berikutnya adalah melakukan pra-pengolahan dan pengolahan data sesuai metodologi CRIPS-DM yaitu:

1. *Data understanding*. Inisialisasi serta eksplorasi data dalam rangka mencari informasi awal mengenai data. Dalam tahap ini perangkat lunak *open source* berbasis *business intelligence* (Microsoft PowerBi) digunakan untuk mencari pola awal penjualan produk yang terjadi selama 6 bulan di *Modern Minimarket-X.*
2. *Data preparation*. Menentukan atribut frekuensi transaksi dan total penjualan, mengatasi *missing data***,** *outliers,* standardisasi (Z-score) dan transformasi data yang dilakukan menggunakan *open source programming language* Python dengan IDE Jupyter Notebook, sehingga data siap untuk dimodelkan dengan algoritma *unsupervised machine learning*.
3. *Modelling*. Membangun model dengan teknik kluster (K-Means++) berbasis python scikit-learn. Tujuannya adalah memisahkan kelompok produk yang diminati dan kurang diminati pelanggan. Lnagkah selanjutnya identifikasi lebih dalam mengenai kombinasi pembelian dengan *association rule* berbasis python MLxtend.
4. *Evaluation.* validasi kluster dengan *silhoute coefficient*, serta penentuan potensi kombinasi pembelian produk berdasarkan nilai *support* dan *confidence*.

Langkah selanjutnya adalah proses optimasi dengan metode *integer programming*. Dalam tahap ini anggota kluster produk yang diminati pelanggan, serta hasil kombinasi pembelian produk dengan nilai *confidence* tertinggi dijadikan acuan dalam menentukan ragam produk untuk dilakukan optimasi profit. pada tahapan ini dilakukan penentuan fungsi tujuan yaitu maksimasi profit produk minuman yang digemari konsumen, dengan *constraint* kapasitas rak dan lemari pendingin (freezer) serta kemampuan suplai produk minuman *Modern Minimarket.* Perangkat lunak IBM ILOG CPLEX Optimization Studio digunakan untuk melakukan perhitungan optimasi profit berbasis *integer programming*. Terakhir adalah pembahasan, serta kesimpulan. Garis besar tahapan penelitian ditunjukan pada gambar 2 diagram alir penelitian.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 2. Diagram alir penelitian

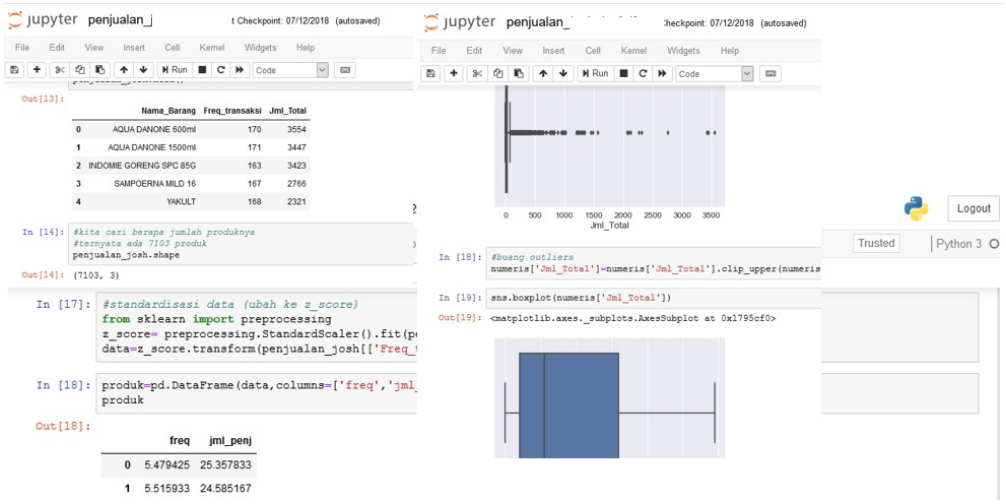
3. Hasil dan Pembahasan

Pembahasan dalam studi ini difokuskan pada produk minuman yang diminati konsumen.

3.1. Pra-pengolahan data

Berdasarkan pemrosesan awal diketahui *Modern Minimarket* memiliki 7103 ragam produk, serta terdapat data pencilan *(outliers)* yang harus dibuang, karena berpotensi mempengaruhi konsistensi keanggotaan kluster. Pada tahap ini dilakukan pula proses standardisasi data menggunakan Z-score yang berfungsi untuk menyamakan bobot nilai pada atribut frekuensi transaksi dan atribut jumlah total penjualan produk. Proses pra pengolahan data ditunjukkan pada Gambar 3.1.

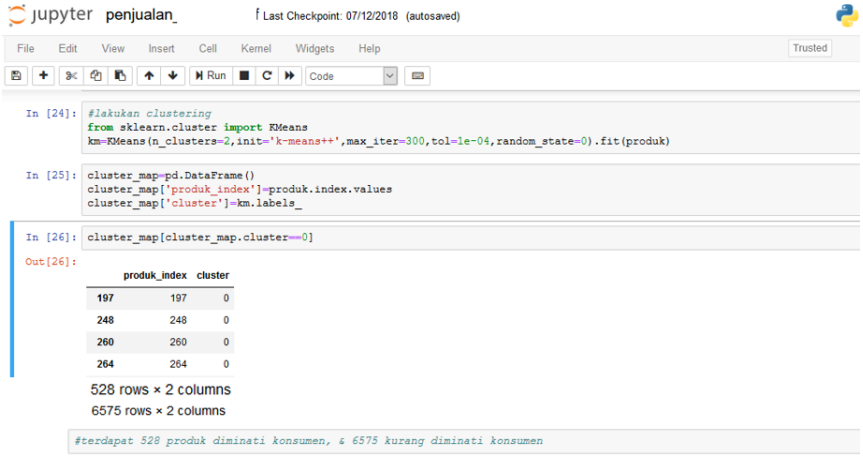
ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 3.1 Pra pengolahan data

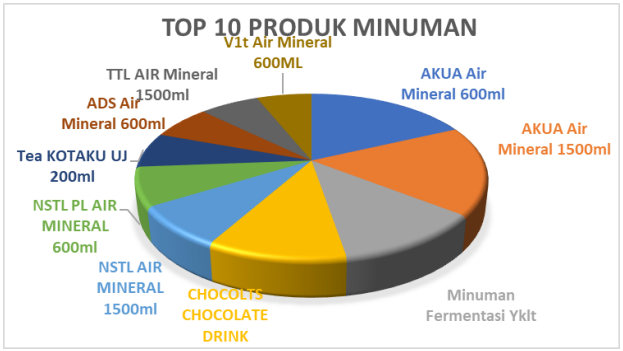
3.1. Pengolahan data dan validasi

Pengolahan data menggunakan algoritma K-means++, dan berdasarkan validasi dengan *silhouette coefficient* 0.62 menghasilkan 2 kluster jenis produk yaitu, produk yang diminati konsumen dengan anggota kluster berjumlah 528 produk, terdiri dari 125 minuman, dan 401 produk lainnya terdiri atas produk makanan, perlengkapan mandi, kosmetik dan bumbu siap saji. Sementara itu, 6575 ragam produk lainnya masuk dalam kategori kluster kurang diminati konsumen. Proses kluster seperti ditunjukkan pada gambar 3.2, sementara Gambar 3.3 adalah top 10 produk minuman dalam kluster yang diminati pelanggan.



Gambar 3.2 Proses kluster dengan algoritma K-Means++

ISBN 978-602-73461-8-5

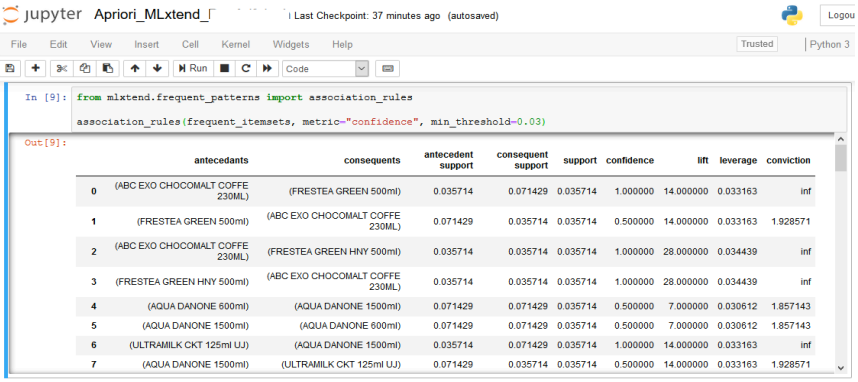


Gambar 3.3 Top 10 produk minuman diminati pelanggan

Pengolahan data dengan algoritma *association rule (apriori)* mengambil nilai *minimum support* 3% dan *minimum confidence 50%.* Hal ini dilakukan karena *nilai support* diatas 3% tidak menghasilkan aturan asosiasi. Berikut adalah beberapa aturan asosiasi produk yang muncul dengan nilai *confidence* tertinggi (100%), artinya hubungan kombinasi pembelian antar item sangat kuat (*strong association*):

a. {EXO CHOCOMALT COFFE 230ML} ->{Fes.TEA GREEN 500ml}
   Konsumen yang membeli EXO CHOCOMALT COFFE, juga beli Fes.TEA GREEN
b. {CLEV.SMOOTHY STRW BLKCURENT}->{Cub.AIR MINERAL 600ML}
   Konsumen yang membeli CLEV.SMOOTHY STRW, juga beli Cub.AIR MINERAL
c. {YU see VIT ORG 140 ml, AKUA 600ml}->{KOPIKU 78C 250ml}
   Konsumen yang membeli YU see VIT ORG 140 ml, AKUA 600ml, juga beli KOPIKU 78C 250ml

Proses pengolahan data dengan python MLxtend ditunjukkan pada Gambar 3.4



	antecedants	consequents	antecedent support	consequent support	support	confidence	lift	leverage	conviction
0	(ABC EXO CHOCOMALT COFFE 230ML)	(FRESTEA GREEN 500ml)	0.035714	0.071429	0.035714	1.000000	14.000000	0.033163	inf
1	(FRESTEA GREEN 500ml)	(ABC EXO CHOCOMALT COFFE 230ML)	0.071429	0.035714	0.035714	0.500000	14.000000	0.033163	1.928571
2	(ABC EXO CHOCOMALT COFFE 230ML)	(FRESTEA GREEN HNY 500ml)	0.035714	0.035714	0.035714	1.000000	28.000000	0.034439	inf
3	(FRESTEA GREEN HNY 500ml)	(ABC EXO CHOCOMALT COFFE 230ML)	0.035714	0.035714	0.035714	1.000000	28.000000	0.034439	inf
4	(AQUA DANONE 600ml)	(AQUA DANONE 1500ml)	0.071429	0.071429	0.035714	0.500000	7.000000	0.030612	1.857143
5	(AQUA DANONE 1500ml)	(AQUA DANONE 600ml)	0.071429	0.071429	0.035714	0.500000	7.000000	0.030612	1.857143
6	(ULTRAMILK CKT 125ml UJ)	(AQUA DANONE 1500ml)	0.035714	0.071429	0.035714	1.000000	14.000000	0.033163	inf
7	(AQUA DANONE 1500ml)	(ULTRAMILK CKT 125ml UJ)	0.071429	0.035714	0.035714	0.500000	14.000000	0.033163	1.928571

Gambar 3.4 Pengolahan data dengan Python MLxtend

3.2. Strategi pengambilan keputusan penjualan produk

Strategi dilakukan dengan mengalokasikan produk minuman yang diminati konsumen berdasarkan hasil kluster (125 *item)*, dan skema kombinasi produk yang dihasilkan oleh *association rule.* Dalam studi ini, kombinasi penjualan produk minuman hasil *association rule* dengan nilai *confidence* tertinggi (100%) masuk dalam kategori kluster produk yang

ISBN 978-602-73461-8-5

diminati konsumen, sehingga produk hasil kombinasi ikut dijadikan sebagai rekomendasi dalam penentuan pengambilan keputusan penjualan produk. Disamping itu, alokasi produk dibatasi oleh kapasitas optimum lemari pendingin dan rak, serta suplai produk.

3.3. Pembahasan optimasi profit

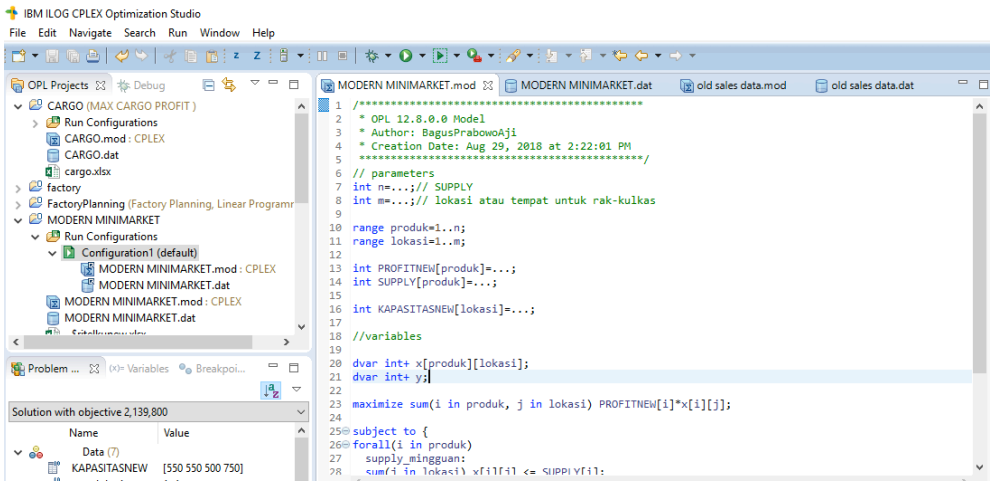
Diketahui bahwa kapasitas optimum lemari pendingin satu dan dua mampu menampung 550 unit, sementara lemari pendingin tiga 500 unit dan rak minuman sanggup menampung 750 unit. kapasitas optimum yang dimaksud disini adalah kemampuan maksimal lemari pendingin atau rak, untuk menampung sejumlah produk minuman. Kapasitas optimum didapatkan dari hasil percobaan dan observasi secara langsung. Disamping itu, *Modern Minimarket*-X memiliki kemampuan suplai dan profit yang berbeda untuk tiap item produk minuman. Model optimasinya adalah sebagai berikut:

$$Max\ Z = \sum_{i \epsilon A} \cdot \sum_{j \epsilon B} P_i X_{ij},$$

s.t:

$\sum_{i \epsilon A} X_{ij} \leq$ Kapasitas lemari pendingin atau rak j	i=1,….,A	A= produk i 1…,125
$\sum_{j \epsilon B} X_{ij} \leq$ suplai produk minuman i	j=1,….,B	B= lemari pedingin-rak j

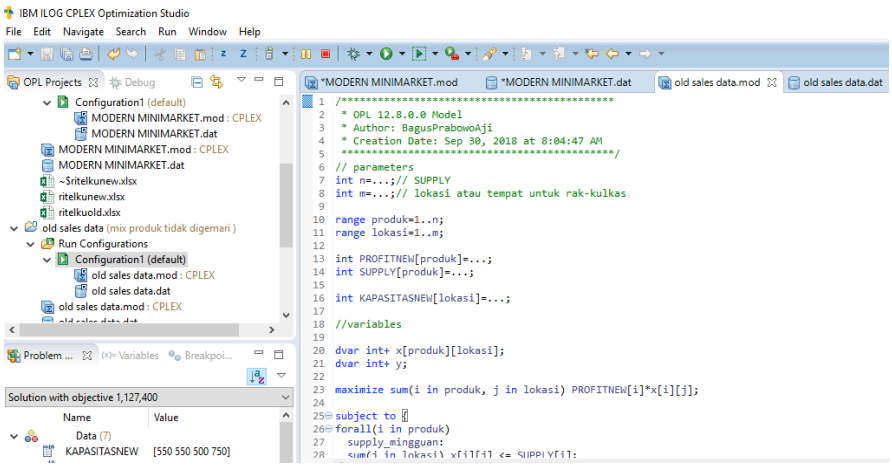
dimana i = produk minuman, j= kapasitas lemari pendingin atau rak, X_{ij}= jumlah produk minuman i di lemari pendingin-rak j, P_i=profit produk minuman i. Fungsi tujuan dari model optimasi ini adalah memaksimasi profit, dengan cara mengalikan profit per unit produk i dengan jumlah produk minuman i di lemari pendingin-rak j. Perhitungan model optimasi profit menggunakan bantuan software IBM ILOG CPLEX Optimization Studio, dan menghasilkan profit sebesar Rp.2.139.800. seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Proses optimasi profit dengan IBM ILOG CPLEX

Selain itu, sebagai pembanding dilakukan perhitungan dengan model optimasi yang sama, namun produk air mineral digantikan dengan produk minuman lain yang kurang diminati konsumen. Produk minuman tersebut memiliki nilai profit per unit dan suplai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan produk yang diminati konsumen, sehingga profit yang dihasilkan turun menjadi Rp.1.127.400, seperti ditunjukkan Gambar 3.7

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 3.7 Optimasi produk minuman kurang digemari konsumen

d. Kesimpulan dan Saran

Menggunakan *unsupervised machine learning algorithm,* data dari PoS dapat dimanfaatkan untuk mendukung strategi pengambilan keputusan penjualan industri ritel. Pengolahan data menggunakan algoritma K-means++ menghasilkan 125 jenis produk minuman yang diminati konsumen. Sementara, kombinasi produk minuman hasil *association rule* dengan nilai *confidence* tertinggi (100%) masuk dalam kategori kluster produk yang digemari konsumen, sehingga ikut dijadikan sebagai rekomendasi dalam pengambilan keputusan penjualan. Strategi pengambilan keputusan penjualan yang direkomendasikan mampu menghasilkan profit sebesar Rp.2.139.800. Disamping itu, mengganti produk air mineral dengan produk minuman yang kurang diminati konsumen menyebabkan turunnya nilai profit menjadi Rp.1.127.400. Hal ini terjadi karena produk minuman tersebut memiliki nilai profit per unit dan suplai produk yang lebih kecil, jika dibandingkan dengan produk yang diminati konsumen. Hasil penelitian juga dapat dijadikan strategi dalam pengambilan keputusan mengenai pemilihan ragam minuman guna mendorong penjualan produk minuman pada minggu tertentu. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan studi dalam menentukan performa *Minimarket* dengan menentukan *key performance indicator* (KPI) serta perancangan perangkat lunak yang berfungsi sebagai *decision support system*.

Daftar Pustaka

Arthur, D and Vassilvitskii, S., 2007, *k-means++: The advantages of careful seeding. In Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms* (pp. 1027-1035). Society for Industrial and Applied Mathematics

Brown, M, S., 2014, *Data mining for dummies*, John Wiley & Sons, New Jersey

Harsoor, A.S. and Patil, A, 2015. *Forecast of sales of walmart store using big data applications*. IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology.

Hackeling.G., 2014, *Mastering machine learning with scikit-learn*, Packt Publishing Ltd, Birmingham B3 2PB, UK

Han, J, Pei, J, and Kamber, M., 2011, *Data mining: concepts and techniques*. Elsevier

Hwang, H., Choi, B., & Lee, G. (2009). A genetic algorithm approach to an integrated problem of shelf space design and item allocation. *Computers & Industrial Engineering*, 56, 809-820.

ISBN 978-602-73461-8-5

İşlek, İ, and Öğüdücü, Ş, G., 2015, *A retail demand forecasting model based on data mining techniques*. *In Industrial Electronics (ISIE), 2015 IEEE 24th International Symposium on* (pp. 55-60). IEEE

Khattak, A, M., Khan,A.M., Lee, S, Lee,Y.K, 2010, *Analyzing Association Rule Mining and Clustering on Sales Day Data with XLMiner and Weka*. *International Journal of Database Theory and Application*, 3(1),13-22

Novitasari, T., 2016, Strategi dan Pengambilan Keputusan Dalam Menganalisa Performa Penjualan Produk Pada *Merchandise Category* Tertentu, Skripsi Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Pedregosa, F., Varoquaux, G, Gramfort, A, Michel, V, Thirion, B, Grisel, O, & Vanderplas, J., 2011. *Scikit-learn: Machine learning in Python*. *Journal of machine learning research*, *12*(Oct), 2825-2830.

Raschka, S., 2018, MLxtend: *Providing machine learning and data science utilities and extensions to Python's scientific computing stack. The Journal of Open Source Software*, *3*(24).

Raschka, S., and Mirjalili, V., 2017, *Python machine learning*, Packt Publishing Ltd, Birmingham B3 2PB, UK

Snapcart Global, 2017, *Rise of Minimarkets: Indonesia's Purchase Shift from Super and Hypermarkets to Minimarkets*, akses online 20 Agustus 2018, *URL: http://www.snapcart.global/rise-minimarkets-indonesia*

Taylor, and Bernard, W., 2013, *Introduction to Management Science*, 11th Ed., Pearson Education, New Jersey

Wibisono.E.M.A,, 2012, Bantul Mart, sebuah upaya untuk meningkatkan kemampuan toko tradisional di Kabupaten Bantul, dalam memenangkan persaingan pasar. Jurnal Riset Daerah, 11(2)

Yudi, S, A., 2017, Masyarakat Pilih Belanja di Minimarket, Penjualan Hypermarket Tertahan, akses online 20 Agustus 2018, *URL: http://www.katadata.co.id/2017/08/05/* masyarakat-pilih-belanja-diminimarket-penjualan-hypermarket-tertahan.

ISBN 978-602-73461-8-5

Gaya Kepemimpinan dan Sikap Senior Manajer pada Inisiatif Pengembangan Inovasi dan Produk Baru Hijau di Industri Kecil Menengah

Broto Widya Hartanto, Amallia Puspitasari
Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Yogyakarta
Jl. Janti Km.4 Gedongkuning, Yogyakarta 55198
Telp. (0274) 566863
E-mail: brotohartanto@gmail.com

Intisari

Peningkatan daya saing Industri Kecil Menengah (IKM) dapat melalui pengembangan inovasi dan produk baru hijau. Dukungan senior manajer berperan penting pada kesuksesan inisiatif pengembangan produk baru hijau di IKM, dimana senior manajer memiliki kekuatan dan kebijaksanaan yang signifikan atas pilihan strategis di perusahaannya. Studi awal ini melakukan perancangan model awal, pembangunan hipotesis, penyusunan diagram alur dari model awal, dan konversi ke sistem persamaan pada model awal yang mempelajari pengaruh gaya kepemimpinan terhadap sikap senior manajer pada dukungan insiatif pengembangan inovasi dan produk baru hijau pada IKM di Yogyakarta. Variabel eksogen adalah gaya kepemimpinan, sedangkan variabel endogen merupakan sikap senior manajer yang terdiri dari toleransi risiko, keterbukaan pada pengetahuan luar, dan dukungan pada inovasi. Metode penghimpunan data pada penelitian explanatory ini menggunakan kuesioner dan wawancara, yang ditujukan kepada responden senior manajer IKM di Yogyakarta. Metode analisis menggunakan Partial Least Squares-Structural Equation Modelling dengan bantuan software smartPLS 3.0. Luaran penelitian awal ini berupa model awal beserta hipotesis, dan diagram alur beserta sistem persamaan dari model awal, yang digunakan sebagai dasar pelaksanaan analisis penelitian menggunakan smartPLS 3.0. Manfaat penelitian memberikan wawasan evaluasi dan penyusunan strategi pengambilan keputusan oleh para senior manajer IKM terkait pengembangan produk baru hijau.

Kata kunci: daya saing; gaya kepemimpinan; inisiatif pengembangan inovasi; produk hijau; sikap senior manajer.

1. Pendahuluan

Indonesia saat ini didominasi oleh industri kecil dan menengah (IKM), dimana tahun 2014 terdapat 3,5juta unit yang merupakan 90% dari total unit usaha industri nasional (Perindustrian, 2016). Dengan jumlah IKM yang tumbuh pesat, maka daya saing diperlukan untuk keberlanjutan usaha dan bertahan dalam dinamika pasar. Daya saing berperan untuk meningkatkan posisi tawar IKM dalam persaingan bisnis, dan bertahan dalam perubahan lingkungan serta kompetisi bisnis yang kuat, dimana salah satunya dapat mengacu pada daya saing produk dan efisiensi produksi (Rostek, 2012; Ahmedova, 2015).

Peningkatan daya saing IKM dapat melalui sektor inovasi dan produk baru. Inovasi secara luas dianggap sebagai penggerak keunggulan kompetitif dan pertumbuhan usaha (Ar dan Baki, 2011). Pengembangan produk baru merupakan alat strategis perusahaan untuk bertahan atau bahkan memenangkan kompetisi pasar, dengan cara menghasilkan produk yang memiliki keunggulan kompetitif (Yuktyanta, 1998).

Inovasi dan produk baru dengan keunggulan kompetitif dapat dicapai melalui

ISBN 978-602-73461-8-5

pengembangan produk baru hijau (*green product*). Produk hijau adalah produk ramah lingkungan yang dirancang untuk mengurangi konsumsi kebutuhan sumber daya alam dan meminimalkan dampak lingkungan yang merugikan dalam siklus kehidupan produk tersebut (Tseng dan Hung, 2013; Albino et al. 2009; Tsai, 2012). Inovasi ramah lingkungan memungkinkan pengembangan kapasitas yang lebih besar dalam mengantisipasi permintaan pasar, pemerintah dan masyarakat, dan menghasilkan keunggulan kompetitif (Lacasa et al. 2016; Dangelico, 2016). Inovasi *green product* menawarkan sejumlah besar manfaat menarik bagi berbagai *stakeholder* di sepanjang siklus hidup mereka (Ilg, 2018). Konsumen bersedia membayar dengan harga premium atau lebih mahal untuk produk ramah lingkungan karena utilitas tambahan yang konsumen peroleh dari membeli produk tersebut (Schlegelmilch et al. 1996; Hopkins dan Roche, 2009).

IKM menghadapi kendala dan permasalahan dalam rangka meningkatkan daya saing usahanya. Sumber daya yang sangat terbatas membatasi kemampuan perusahaan mikro dan kecil dalam inisiatif pembelajaran, menginduksi, dan memperkuat sikap yang berorientasi pada inovasi (Kotey dan Folker, 2007; Burcharth et al. 2014). Proses mendorong inovasi di IKM tidak mudah karena melibatkan evolusi manusia, budaya, keuangan, teknologi, dan struktur organisasi sebagai intinya (Egbu et al. 2005).

Senior manajer IKM di Yogyakarta mayoritas adalah pemilik perusahaan, sehingga sikap dan pengambilan keputusan dari senior manajer memiliki pengaruh yang kuat pada dukungan inisiatif, dan kesuksesan pengembangan inovasi dan produk baru hijau. Dukungan pengembangan inovasi dan produk di sebuah organisasi mayoritas adalah tentang kompetensi dan kapabilitas manajemen perusahaan dalam menghasilkan ide kreatif dan inovatif, dan memimpin pengembangan inovasi produk baru maupun proses (Chandy et al. 2006; Troy et al. 2008; Im dan Workman Jr., 2004; Chen dan Huang, 2009). Karakteristik proses perusahaan merupakan bagian dari prediktor kinerja dan keberhasilan produk baru, dimana dukungan senior manajer menjadi salah satu indikatornya (Henard dan Szymanski, 2001). Dukungan top manajemen berkontribusi langsung dalam mempercepat dan kesuksesan produk baru (Reilly et al. 2003; Swink, 2000).

Dukungan inisiatif pengembangan inovasi dan produk baru membutuhkan peran penting sikap senior manajer. Sikap dapat menjadi peran dominan, baik melegitimasi atau menghambat adopsi dan penerapan inisiatif inovasi pada sebuah organisasi (Burcharth et al. 2014), sehingga dengan membentuk interpretasi, sikap secara signifikan dapat mempengaruhi strategi, perilaku, dan kinerja inovasi sebuah perusahaan (Hambrick dan Mason, 1984; Kraiczy et al. 2015b; Kraiczy et al. 2015a). Sikap orientasi inovasi pada senior manajer menjadi penentu penting dalam proses inovasi di sebuah perusahaan (Chapman dan Hewitt-Dundas, 2018). Senior manajer merupakan pendorong utama inovasi dalam sebuah organisasi (Huang et al. 2012; Kraiczy et al. 2015a), terutama pada perusahaan mikro dan kecil, di mana para senior manajer memiliki kekuatan dan kebijaksanaan yang signifikan atas pilihan strategis (Ahn et al. 2017; Marcati et al. 2008).

Selain sikap, kepemimpinan pada senior manajer di organisasi bisnis menjadi penggerak pengembangan inovasi dan produk baru. Terdapat mekanisme konektivitas antara berbagai aspek operasi sebuah tim terkait dengan kepemimpinan, strategi perusahaan, dan proses generasi ide produk baru (Kazmi et al. 2016). Kepemimpinan yang efektif memfasilitasi inovasi dan daya saing dianggap sebagai pendorong penting pertumbuhan bisnis yang berkelanjutan di pasar negara berkembang (Chen et al. 2012). Kepemimpinan tidak hanya mempengaruhi karakteristik organisasi seperti budaya, strategi, struktur, sistem penghargaan, dan sumber daya, tetapi juga memotivasi kreativitas para pengikutnya (Chang et al. 2015). Setiap gaya kepemimpinan dapat efektif untuk perilaku inovatif di tingkat karyawan (Newman et al. 2018), dimana terdapat kepemimpinan transaksional dan kepemimpinan transformasional (Chang et al. 2015).

ISBN 978-602-73461-8-5

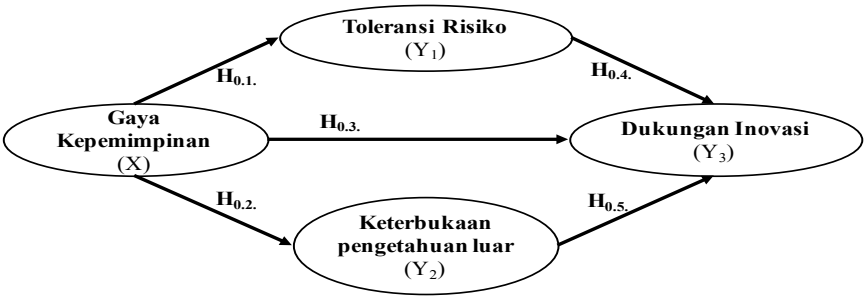
Berdasarkan latar belakang tersebut maka dibutuhkan informasi evaluatif baru dan persuasif terkait bagaimana gaya kepemimpinan berpengaruh terhadap sikap senior manajer IKM yang terdiri dari toleransi risiko, keterbukaan pengetahuan eksternal, dan dukungan inovasi pada insiatif pengembangan inovasi dan produk baru hijau. Secara keseluruhan, penelitian bermanfaat memberikan wawasan dan dasar pertimbangan pengambilan keputusan bagi senior manajer IKM pada dukungan inisisatif pengembangan inovasi dan produk baru hijau. Secara khusus model yang dibangun dalam penelitian awal ini digunakan sebagai dasar konstruksi diagram alur dan konversi ke sistem persamaan yang bermanfaat sebagai dasar analisis penelitian.

2. Metode

2.1. Variabel dan data penelitian

Sampel data primer penelitian diambil dengan teknik *purposive sampling* kepada 100 senior manajer (pemilik, *founder,* direktur, manajer, kepala perusahaan) IKM yang memproduksi produk hijau di Yogyakarta, melalui kuesioner dengan skala pengukuran *likert.* Teknik wawancara dilakukan untuk mendapatkan respon terhadap pandangan yang komplek oleh partisipan serta memberikan kontrol agar sesuai dengan konteks yang diharapkan.

Variabel dalam penelitian *explanatory* ini terdiri dari variabel eksogen (*independent variable*) yaitu gaya kepemimpinan atau *leadership style* (X) yang mengacu penelitian Chang et al. (2015), dan variabel endogen (*dependent variable*) yang terdiri dari toleransi risiko (Y_1), keterbukaan pada pengetahuan luar (Y_2), dan dukungan pada inovasi (Y_3) yang merupakan sikap senior manajer menurut penelitian Chapman dan Hewitt-Dundas (2018). Kerangka model yang memandu pelaksanaan studi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka model penelitian

2.2. Pengembangan Hipotesis

Gaya kepemimpinan senior manajer diketahui memiliki hubungan terhadap dukungan dalam inisiatif pengembangan inovasi dan produk baru, dengan tolerasi risiko sebagai media antaranya. Menurut Latham dan Braun (2009) pengalaman dari hasil keputusan berisiko mempengaruhi preferensi risiko para senior manajer. Ling et al. (2008) menjelaskan bahwa pemimpin transformasional berpengaruh pada integrasi perilaku tim manajemen puncak, preferensi risiko, desentralisasi tanggung jawab, dan kompensasi jangka panjang, serta karakteristik tim manajemen puncak tersebut berdampak pada *corporate entrepreneurship.* Penelitian Newman et al. (2018) dan Chang et al. (2015) menerangkan bahwa *leadership style* berpengaruh kuat pada kegiatan pengembangan inovasi, dimana menurut Latham dan Braun, (2009) memiliki proses yang berisiko dengan distribusi hasil potensial yang tidak pasti. Beberapa pernyataan tersebut mendasari kami dalam membangun hipotesis awal ($H_{0.1.}$) sebagai berikut:

ISBN 978-602-73461-8-5

$H_{0.1.}$ *Leadership style* dan toleransi risiko sebagai variabel antaranya secara positif mempengaruhi dukungan senior manajer dalam insiatif pengembangan inovasi dan produk baru hijau.

Leadership style dari senior manajer berpengaruh terhadap keterbukaan pada pengetahuan luar, dimana hal tersebut membantu dalam pengembangan inovasi dan produk baru. Kepemimpinan dapat mempengaruhi karakteristik organisasi seperti budaya, strategi, struktur, sistem penghargaan, sumber daya, dan juga memotivasi kreativitas para pengikutnya (Chang et al. 2015). Organisasi melalui berbagai percobaan untuk mendapatkan pengetahuan eksternal, membutuhkan usaha dan waktu untuk membangun pemahaman tentang norma, kebiasaan, dan rutinitas dari berbagai saluran pengetahuan eksternal (Laursen dan Salter, 2006). *Leadership style* senior manajer pada sebuah organisasi berpotensi mendorong organisasi dan para karyawannya untuk memiliki budaya dan kebiasaan dalam mendapatkan pengetahuan luar, sehingga mendasari kami membangun hipotesis awal ($H_{0.2.}$) sebagai berikut:

$H_{0.2.}$ *Leadership style* dan keterbukaan pada pengetahuan luar sebagai variabel antaranya secara positif mempengaruhi dukungan senior manajer dalam insiatif pengembangan inovasi dan produk baru hijau.

Leadership style secara langsung berpengaruh pada dukungan senior manajer pada kegiatan inovasi dan pengembangan produk. Pada penelitian Elenkov dan Manev (2005), Chen et al. (2012) dan Chang et al. (2015) menjelaskan bahwa kedua tipe *leadership style* (transaksional dan transformasional) dari senior manajer atau pimpinan berpengaruh kuat pada kegiatan inovasi di sebuah organisasi. Pernyataan tersebut yang mendasari pembangunan hipotesis awal ($H_{0.3.}$) berikut:

$H_{0.3.}$ *Leadership style* secara positif mempengaruhi dukungan senior manajer dalam insiatif pengembangan inovasi dan produk baru hijau.

Preferensi pengambilan risiko oleh senior manajer menghasilkan keputusan yang berpengaruh pada pengembangan inovasi di organisasinya. Pada penelitian Chapman dan Hewitt-Dundas (2018), menerangkan bahwa senior manajer dengan preferensi toleransi risiko yang lebih tinggi memungkinkan untuk melakukan, mendorong, dan mengalokasikan sumber daya dalam kegiatan inovasi. Serta menurut Scott dan Bruce (1994), menjelaskan bahwa toleransi risiko oleh senior manajer dapat mempengarui perilaku inovatif karyawan. Kondisi tersebut yang mendasari kami dalam pembangunan hipotesis awal ($H_{0.4.}$) berikut:

$H_{0.4.}$ Toleransi risiko secara positif mempengaruhi dukungan senior manajer dalam insiatif pengembangan inovasi dan produk baru hijau.

Keterbukaan pada pengetahuan eksternal memiliki kontribusi pada proyek pengembangan inovasi dan produk baru. Penelitian Flor et al. (2018) menjelaskan bahwa proses penyerapan pengetahuan eksternal membantu dalam menerangkan sebuah inovasi. Pada penelitian Chapman dan Hewitt-Dundas (2018) menjelaskan bahwa pengetahuan luar yang diterima dapat mempercepat proyek inovasi, dan mendapatkan manfaat dari proyek yang dilakukan pada sebuah perusahaan, serta dapat mengalokasi sumber daya yang diinvestasikan ke proyek yang lainnya. Berdasarkan hal tersebut, kami mengusulkan untuk

ISBN 978-602-73461-8-5

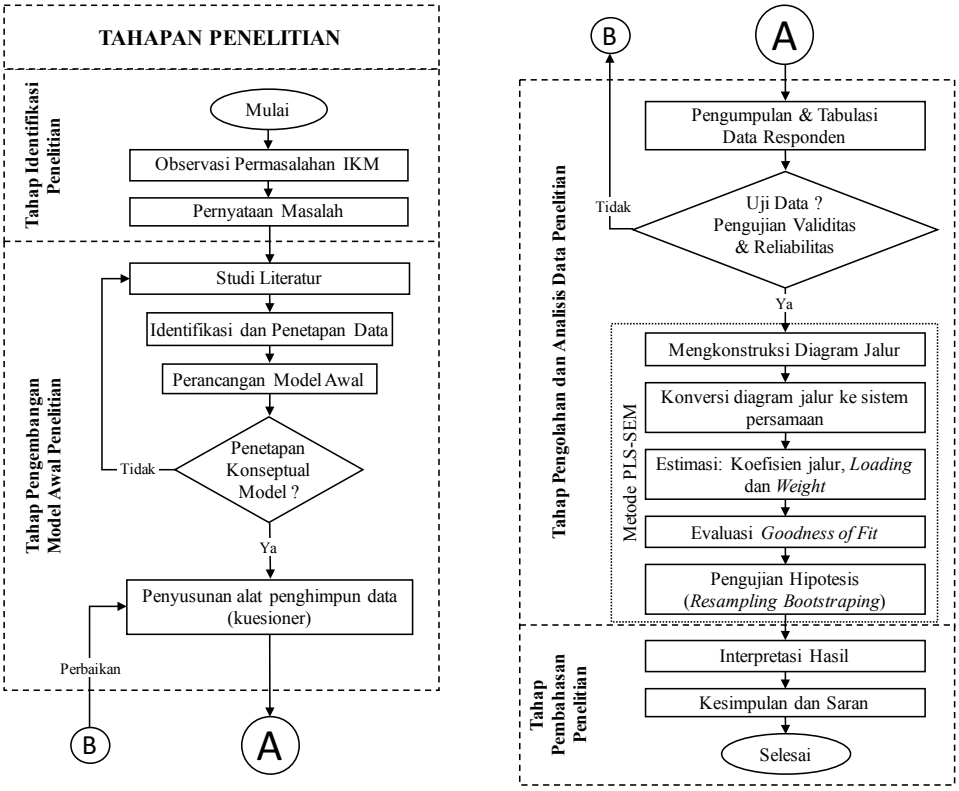
mengevaluasi peran keterbukaan terhadap pengetahuan luar pada pengembangan inovasi dan produk baru, melalui pembangunan hipotesis awal ($H_{0.5.}$) berikut:

$H_{0.5.}$ Keterbukaan pengetahuan luar secara positif mempengaruhi dukungan senior manajer dalam insiatif pengembangan inovasi dan produk baru hijau.

2.3. Metode dan tahapan penelitian

Penelitian awal ini melakukan prediksi yang digunakan untuk membangun teori dengan jumlah sampel yang kecil, sehingga metode yang dapat digunakan adalah *Partial Least Squares-Structural Equation Modelling* (PLS-SEM), dimana merupakan metode yang bertujuan untuk menguji hubungan prediktif antar konstruk dengan melihat apakah terdapat hubungan atau pengaruh antar konstruk tersebut.

Penelitian awal ini melakukan perancangan model awal, membangun hipotesis, mengkonstruksi diagram alur dari model awal, dan konversi ke sistem persamaan dari model awal. Tetapi secara keseluruhan penelitian terbagi kedalam empat tahap, yaitu tahap identifikasi penelitian yang melaksanakan observasi di IKM dan dirumuskan dalam pernyataan masalah yang akan diselesaikan. Tahap kedua adalah perancangan model awal penelitian, dimana dilakukan konseptualisasi model (awal) yang berdasarkan atas data awal permasalahan dan studi literatur. Tahap ketiga adalah pengolahan dan analisis data penelitian, yang terdiri dari proses pengumpulan dan tabulasi data, uji data, dan analisis *Partial Least Squares-Structural Equation Modelling* (PLS-SEM) dengan bantuan *software* smartPLS 3.0. Dalam tahap pembahasan dilakukan diskusi dari hasil analisis data dan implikasinya pada perusahaan IKM. Tahapan penelitian secara lengkap ditunjukkan pada Gambar 2., berikut.



Gambar 2. Tahapan penelitian

ISBN 978-602-73461-8-5

3. Hasil dan Pembahasan

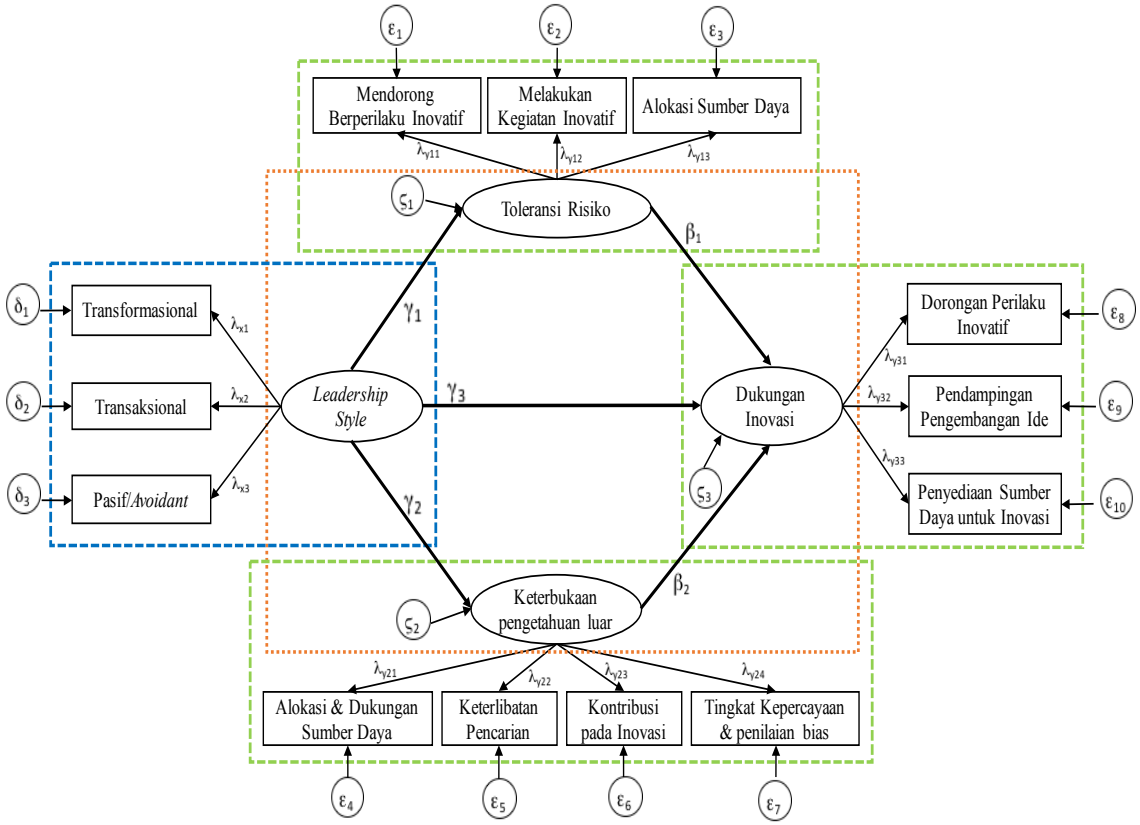
Dalam studi awal ini, melakukan perancangan model, pembangunan hipotesis, konstruksi diagram jalur, dan konversi ke sistem persamaan. Diawali dengan perancangan model struktural (*inner model)* dan model pengukuran *(outer model),* yang ditunjukkan pada Gambar 2., berdasarkan variabel dan indikator reflektif yang telah ditetapkan. Penetapan variabel dan indikator ditunjukkan dalam Table 1. berikut.

Tabel 1. Variabel dan indikator penelitian

No.	Variabel	Kode	Indikator	Kode
1.	Gaya kepemimpinan *(leadership style)*	X	a. Transformasional	x_1
			b. Transaksional	x_2
			c. Pasif/*avoidant*	x_3
2.	i. Toleransi risiko	Y_1	a. Mendorong berperilaku inovatif	y_{11}
			b. Melakukan kegiatan inovatif	y_{12}
			c. Alokasi sumber daya	y_{13}
	ii. Keterbukaan pada pengetahuan luar	Y_2	a. Alokasi & dukungan sumber daya	y_{21}
			b. Keterlibatan pencarian	y_{22}
			c. Kontribusi pada inovasi	y_{23}
			d. Tingkat kepercayaan & penilaian bias	y_{24}
	iii. Dukungan pada inovasi	Y_3	a. Dorongan perilaku inovatif	y_{31}
			b. Pendampingan pengembangan ide	y_{32}
			c. Penyediaan sumber daya untuk inovasi	y_{33}

Langkah selanjutnya adalah melakukan konstruksi diagram jalur, yang ditunjukkan pada Gambar 2. Hubungan antar konstruk dalam diagram alur dinyatakan melalui anak panah.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 3. Diagram alur dari konseptual model (awal) penelitian

Berdasarkan konseptual model tersebut, selanjutnya adalah dilakukan konversi diagram jalur ke sistem persamaan. Model pengukuran *(outer model)* dapat dinyatakan dalam sistem persamaan sebagai berikut:

Variabel laten eksogen gaya kepemimpinan (X), dengan model indikator reflektif

$$x_1 = \lambda_{x1} X + \delta_1 \quad (1)$$
$$x_2 = \lambda_{x2} X + \delta_2 \quad (2)$$
$$x_3 = \lambda_{x3} X + \delta_3 \quad (3)$$

Variabel laten endogen toleransi risiko (Y_1), dengan model indikator reflektif

$$y_{11} = \lambda_{y11} Y_1 + \varepsilon_1 \quad (4)$$
$$y_{12} = \lambda_{y12} Y_1 + \varepsilon_2 \quad (5)$$
$$y_{13} = \lambda_{y13} Y_1 + \varepsilon_3 \quad (6)$$

Variabel laten endogen keterbukaan pada pengetahuan luar (Y_2) dengan model indikator reflektif

$$y_{21} = \lambda_{y21} Y_2 + \varepsilon_4 \quad (7)$$
$$y_{22} = \lambda_{y22} Y_2 + \varepsilon_5 \quad (8)$$
$$y_{23} = \lambda_{y23} Y_2 + \varepsilon_6 \quad (9)$$
$$y_{24} = \lambda_{y24} Y_2 + \varepsilon_7 \quad (10)$$

Variabel laten endogen dukungan pada inovasi (Y_3), dengan model indikator reflektif

$$y_{31} = \lambda_{y31} Y_3 + \varepsilon_8 \quad (11)$$
$$y_{32} = \lambda_{y32} Y_3 + \varepsilon_9 \quad (12)$$
$$y_{33} = \lambda_{y33} Y_3 + \varepsilon_{10} \quad (13)$$

Sedangkan persamaan pada model struktural *(inner model)* dapat dinyatakan dalam sistem persamaan sebagai berikut:

ISBN 978-602-73461-8-5

$$Y_1 = \gamma_1 X + \varsigma_1 \quad (14)$$
$$Y_2 = \gamma_2 X + \varsigma_2 \quad (15)$$
$$Y_3 = \beta_1 Y_1 + \beta_2 Y_2 + \gamma_3 X + \varsigma_3 \quad (16)$$

Dimana:

X = Variabel laten eksogen.
Y = Variabel laten endogen.
λ_x = Loading factor variabel laten eksogen.
λ_y = Loading factor variabel laten endogen.
δ = Galat pengukuran pada variabel manifest untuk variabel laten eksogen.
ε = Galat pengukuran pada variabel manifest untuk variabel laten endogen.
γ = Koefisien pengaruh variabel eksogen terhadap variabel endogen.
ς = Galat model.
β = Koefisien pengaruh variabel endogen terhadap variabel endogen.

4. Kesimpulan dan Saran

Variabel dalam studi awal ini dapat menggambarkan kondisi senior manajer yang berperan dalam proses inisiatif pengembangan inovasi dan produk baru hijau di IKM. Gaya kepemimpinan sebagai variabel *independent* atau variabel eksogen dapat secara langsung maupun tidak langsung mempengaruhi variabel endogen atau variabel *dependent*, yang terdiri dari toleransi risiko, keterbukaan pada pengetahuan luar, dan dukungan pada inovasi.

PLS-SEM merupakan metode yang memiliki kemampuan untuk membentuk asumsi secara bebas, baik mengenai penetapan variabel, indikator data, maupun ukuran sampel yang tidak harus besar. Metode PLS, selain dapat digunakan untuk mengkonfirmasi teori juga dapat digunakan untuk prediksi model yang dibangun.

Hasil dari studi awal ini digunakan sebagai dasar pelaksanaan analisis data menggunakan smartPLS versi 3.0 pada penelitian secara lengkapnya.

Daftar Pustaka

Ahmedova, S., 2015. Factors for Increasing the Competitiveness of Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs) in Bulgaria. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, pp.1104–1112. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877042815036344.

Ahn, J.M., Minshall, T. & Mortara, L., 2017. Understanding the human side of openness: the fit between open innovation modes and CEO characteristics. *R and D Management*, 47(5), pp.727–740.

Albino, V., Balice, A. & Dangelico, R.M., 2009. Environmental strategies and green product development: An overview on sustainability-driven companies. *Business Strategy and the Environment*, 18(2), pp.83–96.

Ar, I.M. & Baki, B., 2011. Antecedents and performance impacts of product versus process innovation: Empirical evidence from SMEs located in Turkish science and technology parks. *European Journal of Innovation Management*, 14(2), pp.172–206.

Burcharth, A.L.D.A., Knudsen, M.P. & Søndergaard, H.A., 2014. Neither invented nor shared here: The impact and management of attitudes for the adoption of open innovation practices. *Technovation*, 34(3), pp.149–161.

Chandy, R. et al., 2006. From Invention to Innovation: Conversion Ability in Product Development. *Journal of Marketing Research*, 43(3), pp.494–508. Available at: http://journals.ama.org/doi/abs/10.1509/jmkr.43.3.494.

Chang, J., Bai, X. & Li, J.J., 2015. The influence of leadership on product and process innovations in China: The contingent role of knowledge acquisition capability.

ISBN 978-602-73461-8-5

Industrial Marketing Management, 50, pp.18–29.
Chapman, G. & Hewitt-Dundas, N., 2018. The effect of public support on senior manager attitudes to innovation. *Technovation*, 69, pp.28–39.
Chen, C.J. & Huang, J.W., 2009. Strategic human resource practices and innovation performance - The mediating role of knowledge management capacity. *Journal of Business Research*, 62(1), pp.104–114.
Chen, M.Y.C. et al., 2012. Does transformational leadership facilitate technological innovation? The moderating roles of innovative culture and incentive compensation. *Asia Pacific Journal of Management*, 29(2), pp.239–264.
Dangelico, R.M., 2016. Green Product Innovation: Where we are and Where we are Going. *Business Strategy and the Environment*, 25(8), pp.560–576.
Egbu, C.O., Hari, S. & Renukappa, S.H., 2005. Knowledge management for sustainable competitiveness in small and medium surveying practices. *Structural Survey*, 23(1), pp.7–21.
Elenkov, D.S. & Manev, I.M., 2005. Top management leadership and influence on innovation: The role of sociocultural context. *Journal of Management*, 31(3), pp.381–402.
Flor, M.L., Cooper, S.Y. & Oltra, M.J., 2018. External knowledge search, absorptive capacity and radical innovation in high-technology firms. *European Management Journal*, 36(2), pp.183–194.
Hambrick, D.C. & Mason, P.A., 1984. Upper Echelons: The Organization as a Reflection of Its Top Managers. *Academy of Management Review*, 9(2), pp.193–206. Available at: http://amr.aom.org/cgi/doi/10.5465/AMR.1984.4277628.
Henard, D.H. & Szymanski, D.M., 2001. Why Some New Products Are More Successful Than Others. *Journal of Marketing Research*, 38(3), pp.362–375. Available at: http://journals.ama.org/doi/abs/10.1509/jmkr.38.3.362.18861.
Hopkins, M.S. & Roche, C., 2009. What the "Green" Consumer Wants. *MIT Sloan Management Review*, 50(4), pp.87–89.
Huang, H.C., Lai, M.C. & Lo, K.W., 2012. Do founders own resources matter? the influence of business networks on start-up innovation and performance. *Technovation*, 32(5), pp.316–327.
Ilg, P., 2018. How to foster green product innovation in an inert sector. *Journal of Innovation & Knowledge*, pp.1–13. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2444569X18300155.
Im, S. & Workman Jr., J.P., 2004. Market Orientation, Creativity, and New Product Performance in High-Technology Firms. *Journal of Marketing*.
Kazmi, S.A.Z., Naarananoja, M. & Wartsila, J.K., 2016. Integrating Strategic Thinking and Transformational Leadership for NPD Idea Support Process. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 229, pp.387–397. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877042816310849.
Kotey, B. & Folker, C., 2007. Employee training in SMEs: Effect of size and firm type - Family and nonfamily. *Journal of Small Business Management*, 45(2), pp.214–238.
Kraiczy, N.D., Hack, A. & Kellermanns, F.W., 2015a. CEO innovation orientation and R&D intensity in small and medium-sized firms: the moderating role of firm growth. *Journal of Business Economics*, 85(8), pp.851–872.
Kraiczy, N.D., Hack, A. & Kellermanns, F.W., 2015b. What makes a family firm innovative? CEO risk-taking propensity and the organizational context of family firms. *Journal of Product Innovation Management*, 32(3), pp.334–348.
Lacasa, E., Santolaya, J.L. & Biedermann, A., 2016. Obtaining sustainable production from the product design analysis. *Journal of Cleaner Production*, 139, pp.706–716.

ISBN 978-602-73461-8-5

Latham, S.F. & Braun, M., 2009. Managerial risk, innovation, and organizational decline. *Journal of Management*, 35(2), pp.258–281.

Laursen, K. & Salter, A., 2006. Open for innovation: The role of openness in explaining innovation performance among U.K. manufacturing firms. *Strategic Management Journal*, 27(2), pp.131–150.

Ling, Y. et al., 2008. Transformational leadership's role in promoting corporate entrepreneurship: Examining the ceo-tmt interface. *Academy of Management Journal*, 51(3), pp.557–576.

Marcati, A., Guido, G. & Peluso, A.M., 2008. The role of SME entrepreneurs' innovativeness and personality in the adoption of innovations. *Research Policy*, 37(9), pp.1579–1590.

Newman, A. et al., 2018. The effects of employees' creative self-efficacy on innovative behavior: The role of entrepreneurial leadership. *Journal of Business Research*, 89, pp.1–9.

Perindustrian, K., 2016. Inovasi Jadi Kunci Sukses IKM Berdaya Saing. Available at: http://www.kemenperin.go.id/artikel/16493/ Inovasi-Jadi-Kunci-Sukses-IKM-Berdaya-Saing [Accessed March 20, 2018].

Reilly, R.R., Chen, J.Y. & Lynn, G.S., 2003. *Power and empowerment: The role of top management support and team empowerment in new product development*,

Rostek, K., 2012. The reference model of competitiveness factors for SME medical sector. *Economic Modelling*, 29(5), pp.2039–2048.

Schlegelmilch, B.B., Bohlen, G.M. & Diamantopoulos, A., 1996. The link between green purchasing decisions and measures of environmental consciousness. *European Journal of Marketing*, 30(5), pp.35–55.

Scott, S.G. & Bruce, R.A., 1994. Determinants of Innovative Behavior: A Path Model of Individual Innovation in The Workplace. *Academy of Management Journal*, 37(3), pp.580–607. Available at: http://amj.aom.org/cgi/doi/10.2307/256701.

Swink, M., 2000. Technological innovativeness as a moderator of new product design integration and top management support. *Journal of Product Innovation Management*, 17(3), pp.208–220.

Troy, L.C., Hirunyawipada, T. & Paswan, A.K., 2008. Cross-Functional Integration and New Product Success: An Empirical Investigation of the Findings. *Journal of Marketing*, 72(6), pp.132–146. Available at: http://journals.ama.org/doi/abs/10.1509/jmkg.72.6.132.

Tsai, C.C., 2012. A research on selecting criteria for new green product development project: Taking Taiwan consumer electronics products as an example. *Journal of Cleaner Production*, 25, pp.106–115.

Tseng, S.C. & Hung, S.W., 2013. A framework identifying the gaps between customers' expectations and their perceptions in green products. *Journal of Cleaner Production*, 59, pp.174–184. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.050.

Yuktyanta, H.B., 1998. Pengembangan Produk Baru sebagai Alat Strategies untuk Meraih Keunggulan Pasar yang Bersaing. *Universitas Indonesia, Jakarta*.

ISBN 978-602-73461-8-5

Model Optimasi Distribusi Logistik Bencana di Demak dan Pekalongan dengan Integer Linear Programming

Dyah Ika Rinawati, Sriyanto, Annisa Fajrita Yuandari
Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedharto, S.H., Tembalang, Semarang 50275
Telp. (024) 7460052
E-mail: dyah.ika@gmail.com

Intisari

Pendistribusian bantuan logistik yang cepat dan tepat merupakan kegiatan yang sangat dibutuhkan dalam manajemen bencana. Adapun kendala dalam pendistribusian bantuan logistik meliputi dalam hal: jumlah dan jenis komoditas yang tersedia, jarak antar depot dengan lokasi pengungsian, waktu distribusi, dan kapasitas angkut transportasi. Permasalahan yang dihadapi BPBD Jawa Tengah sebagai depot adalah belum adanya penentuan alokasi logistik dan rute pendistribusian untuk dua daerah berbeda yang terdampak bencana secara bersamaan. Objek pada penelitian ini adalah Demak dan Pekalongan yang pada pertengahan Februari 2018 mengalami kejadian banjir secara bersamaan. Penelitian ini menggunakan model Integer Linear Programming (ILP) dengan tujuan untuk meminimasi total permintaan paket logistik yang tidak terpenuhi untuk seluruh titik permintaan dalam waktu ≤ 24 jam. Pencarian solusi model dilakukan dengan software LINGO 17.0. Dari model yang dikembangkan akan menghasilkan rute untuk tiap kendaraan yang tersedia untuk melakukan distribusi logistik ke setiap barak pengungsian dan menentukan jumlah alokasi bantuan yang dikirim ke setiap lokasi pengungsian. Hasil pengolahan data menunjukkan fungsi tujuan dengan nilai objektif 0 yang artinya semua permintaan dapat terpenuhi.

Kata kunci: Distribusi Logistik Bencana, Integer Linear Programming, LINGO

1. Pendahuluan

Indonesia dengan kondisi geografis dan geologisnya memiliki potensi bencana yang cukup besar, terbukti dengan menempati posisi tertinggi paling rawan bencana alam menurut *United Nations International Strategy for Disaster Reduction* pada tahun 2012. Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana menyebutkan definisi bencana sebagai peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor non alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis.

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menyebutkan bahwa bencana yang paling sering terjadi di Indonesia selama 10 (sepuluh) tahun terakhir adalah banjir. Dari 20.739 kejadian yang tercatat, jumlah peristiwa banjir terjadi sebanyak 6577 (32%), di mana provinsi Jawa Tengah menempati urutan kedua yang paling sering terkena banjir dengan jumlah kejadian sebanyak 929 (14%). Dari bencana yang terjadi diperlukan adanya manajemen bencana yang terdiri dari kegiatan pengelolaan berbagai upaya dan tindakan yang dilakukan untuk pencegahan bencana, penjinakan atau mitigasi, penyelamatan/tanggap darurat, rehabilitasi dan rekonstruksi, baik sebelum, pada saat, maupun setelah kejadian bencana (Saptadi dan Djamal, 2012).

ISBN 978-602-73461-8-5

Disribusi logistik bencana atau *Disaster Relief Operation* (DRO) merupakan kegiatan penting yang dapat digunakan sebagai tolak ukur keberhasilan penanganan bencana. Menurut Thomas, et al. (2005) masalah dalam DRO adalah bagaimana pendistribusian barang bantuan dapat dengan cepat dan dalam jumlah yang tepat untuk korban yang membutuhkan.

Menurut Oktarina (2009) dalam penanggulangan bencana, segala upaya yang dilakukan ditujukan untuk mencegah dan meringankan penderitaan manusia, baik akibat konflik maupun bencana. Upaya penanggulangan dilakukan karena banjir dapat menyebabkan daerah yang tertimpa kehilangan sumber-sumber daya sehingga mengalami disfungsi. Bantuan berupa logistik merupakan salah satu kegiatan aktivitas utama dalam penanggulangan bencana menurut Sulistyawan (2016). Bantuan yang dibutuhkan berupa kebutuhan pangan sesuai kebutuhan dasar perhari untuk perorangan berdasarkan PERKA No. 18 Tahun 2009.

Berdasarkan data BNPB, dua daerah dengan jumlah pengungsi terbanyak dari 60 kejadian banjir yang terjadi di Jawa Tengah sejak awal 2018 hingga Februari 2018, meliputi Demak dan Pekalongan. Banjir pada kedua daerah tersebut menumbuhkan kebutuhan di titik pengungsian pada waktu bersamaan. Maka diperlukan penentuan alokasi logistik serta rute distribusi logistik sebagai upaya penanggulangan bencana banjir tersebut, karena sebelumnya belum ada di BPBD Jawa Tengah sebagai salah satu lembaga yang bertanggung jawab.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Mulyani, et al. (2014) berfokus pada upaya pemenuhan permintaan melalui gudang penyalur dengan memperhatikan pemerataan distribusi dengan menggunakan *Mixed Integer Linear Programming* (MILP). Menurut Hutomo, et al. (2011) MILP menghendaki beberapa, tetapi tidak semua variabel keputusan harus merupakan bilangan bulat non-negatif. Dengan bantuan MILP, dapat menghasilkan solusi dengan nilai optimum menurut Christian (2013). Selanjutnya Tambunan (2017) meneliti model optimasi distribusi logistik bencana gunung merapi dengan metode *Integer Linier Programming***.** Hasilnya berupa rute untuk tiap kendaraan yang tersedia dalam melakukan distribusi logistik ke setiap barak pengungsian dan jumlah alokasi bantuan yang dikirim ke setiap lokasi pengungsian.

2. Metode

a. Objek penelitian

Objek yang akan diteliti adalah banjir pada Demak dan Pekalongan yang akan dihitung banyaknya alokasi logistik yang akan didistribusikan sera rute dalam pendistribusiannya dengan menggunakan *Integer Linear Programming* (ILP).

b. Formulasi model

Formulasi model akan digunakan untuk pengambilan keputusan dan menjamin ketepatan pemenuhan kebutuhan barang bantuan yang diperlukan secara maksimum dilokasi pengungsian bencana sesuai dengan prinsip cepat dan tepat, serta berdaya guna. Formulasi model disusun berdasar atas model yang dikembangkan oleh Mulyani et al. (2014). Berikut ini model yang dimodifikasi sesuai dengan kondisi nyata dan ketersediaan data:

Notasi:

Set

J = {1,2,…,|j|} : barak pengungsian
K = {1,2,…,|k|} : set kendaraan
A = {1,2,…,|a|} : paket logistik

ISBN 978-602-73461-8-5

T = {1,2,…,|t|} : jumlah tur

Parameter

S_a : jumlah stok logistik di depot untuk komoditas *a* (dus)

D_{ja} : jumlah permintaan paket logistik oleh barak j untuk komoditas a (dus)

Y_{ij} : jarak pengiriman logistik antara barak i ke barak j (km)

Q_k : kapasitas angkut maksimum kendaraan k (dus)

V_k : kecepatan kendaraan k (km/jam)

L_k : waktu loading logistik kendaraan k (jam)

M_{ijk} : waktu pengiriman berdasarkan jarak dari i ke j dengan kendaraan k (jam)

G_{ijkt} : waktu distribusi total dari i ke j dengan kendaraan k pada tur ke t (jam)

U_{ik} : muatan kendaraan k setelah mengunjungi titik *i* (dus)

C : konstanta untuk jumlah muatan angkut paket logistik semua kendaraan

Variabel keputusan

Z_{ajkt} : banyaknya paket logistik yang dikirim dari depot i ke titik j dengan menggunakan kendaraan k pada tur t (dus)

X_{ijkt} : 1, jika titik j dilalui setelah titik i dengan menggunakan kendaraan .,0 lainnya

Fungsi Objektif:

Meminimasi jumlah permintaan paket logistik barak *j* yang tidak terpenuhi (dus)

$$Min = \sum_{j=1}^{j=j} Pja \quad \text{.....(1)}$$

Kendala:

Jumlah permintaan yang tidak terpenuhi didapat dari total jumlah demand dikurangi dengan total paket logistik yang telah dialokasikan kesetiap barak pengungsian.

$$D_{ja} - \sum_{k=1}^{k=k} \sum_{t=1}^{t=t} Z_{ajkt} = P_{ja}, a \in A, j \in J \quad \text{.....(2)}$$

Permintaan yang tidak terpenuhi karena keterbatasan kendaraan akan dikirimkan pada periode selanjutnya.

$$\text{Zajkt} \leq \text{C*} \sum_{\text{i=1,i}\neq\text{j}}^{\text{i=i}} \text{Xijk}, \text{a} \in \text{A}, \text{j} \in \text{J}, \text{k} \in \text{K}, \text{t} \in \text{T} \quad \text{.....(3)}$$

Banyaknya paket logistik yang akan dikirim tidak boleh melebihi stok paket logistik di depot.

$$\sum_{j=1}^{j=j} \sum_{k=1}^{k=k} \sum_{t=1}^{t=t} Z_{ajkt} \leq S_a, a \in A \quad \text{.....(4)}$$

Besarnya waktu distribusi harus kurang dari 24 jam.

$$\sum_{i=1}^{i=i} \sum_{j=1}^{j=j} \sum_{t=1}^{t=t} (G_{ijkt} * X_{ijkt}) \leq 24, k \in K \quad \text{.....(5)}$$

Satu kendaraan dapat mendistribusikan ke lebih dari satu titik permintaan, teteapi satu titik permintaan hanya boleh disuplai oleh satu kendaraan.

$$\sum_{k=1}^{k=k} \sum_{i=1, i\neq j}^{i=i} X_{ijkt} = 1, j \geq 1 \quad \text{.....(6)}$$

Setiap rute perjalanan kendaraan akan berawal dari depot.

$$\sum_{i=1}^{i=i} X_{ijkt} \leq 1, i = 1, t \in T, k \in K, j \in J \quad \text{.....(7)}$$

ISBN 978-602-73461-8-5

Setiap rute perjalanan kendaraan akan berakhir didepot.

$$\sum_{j=1}^{j=j} X_{ijkt} \leq 1, j = 1, t \in T, k \in K, i \in I \quad (8)$$

Setiap kendaraan yang mengunjungi suatu titik permintaan akan meninggalkan lokasi tersebut setelah selesai melayani permintaan paket logistik.

$$\sum_{i=1 i \neq h}^{i=i} X_{ihkt} - \sum_{j=1, j \neq h}^{j=j} H_{hjkt} = 0, t \in T, k \in K, h \in I \quad (9)$$

Memastikan tidak terjadi sub rute pada semua rute yang terbentuk.

$$U_{ik} - U_{jk} + Q_k * X_{ijkt} \leq Q_k - Z_{ajkt}, i \in I, j \geq 1, j \neq i, k = 1, t \in 1 \quad (10)$$

$$Z_{aikt} \leq U_{ik} \leq Q_k, i \in I, k \in K \quad (11)$$

Banyaknya barang yang akan dikirim tidak boleh melebihi kapasitas angkut maksimum kendaraan.

$$\sum_{2}^{10} Z_{ajkt} \leq Q_k, k \in K, t \in T \quad (12)$$

Variabel keputusan *Xijk* merupakan integer biner.

$$X_{ijkt} \in \{0,1\}, i \in j, j \in J, k \in K, t \in T \quad (13)$$

Kendala ketidaknegatifan.

$$Z_{ajkt} \geq 0 \quad (14)$$

$$P_{ja} \geq 0 \quad (15)$$

$$U_{ik} \geq 0 \quad (16)$$

c. Pengumpulan data

Data primer yang digunakan dalam penelitian diperoleh dari wawancara, yaitu sebagai berikut: data titik pengungsian, data jumlah pengungsi, data jenis komoditas berupa mie instan dan air mineral dan data ketersediaan serta data kapasitas kendaraan dan data kecepatan bongkar muat sebesar 0,33 jam melalui wawancara dengan Kepala Logistik BPBD Jawa Tengah dan Kepala Pelaksana BPBD Demak dan Pekalongan.

Data sekunder yang diperoleh melalui studi literatur, jurnal maupun internet, meliputi data horizon waktu yaitu 24 jam bersumber dari PERKA No.18 Tahun 2009, data kecepatan kendaraan bersumber sebesar 40km/jam dari Cahyo (2015) dan data jarak antar titik bersumber dari *google maps* yang dirangkum pada Tabel 2.

2.3.1 Titik dan jumlah pengungsi

Titik (desa) yang terkena dampak banjir Demak serta Pekalongan berjumlah 9 titik (desa). Jumlah pengungsi dampak banjir adalah 7043 jiwa untuk Demak yang terdiri dari pengungsi kecamatan Sayung dan 1006 jiwa untuk Pekalongan yang terdiri dari pengungsi kecamatan Tirto dan Wonokerto. Datanya dirangkum pada Tabel 1.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 1 Titik dan jumlah pengungsi tahun 2018

Kode Titik Pengungsian	Desa	Kabupaten	Kecamatan	Pengungsi (jiwa)	Total (jiwa)
1	BPBD Jateng	-	-	-	-
2	Sayung	Demak	Sayung	2.402	7043
3	Kalisari			1.500	
4	Prampelan			1.266	
5	Sidorejo			1.875	
6	Jeruksari	Pekalongan	Tirto	302	897
7	Tegaldowo			395	
8	Karangjompo			200	
9	Pesanggrahan		Wonokerto	75	109
10	Api-Api			34	

2.3.2 Jarak antar titik

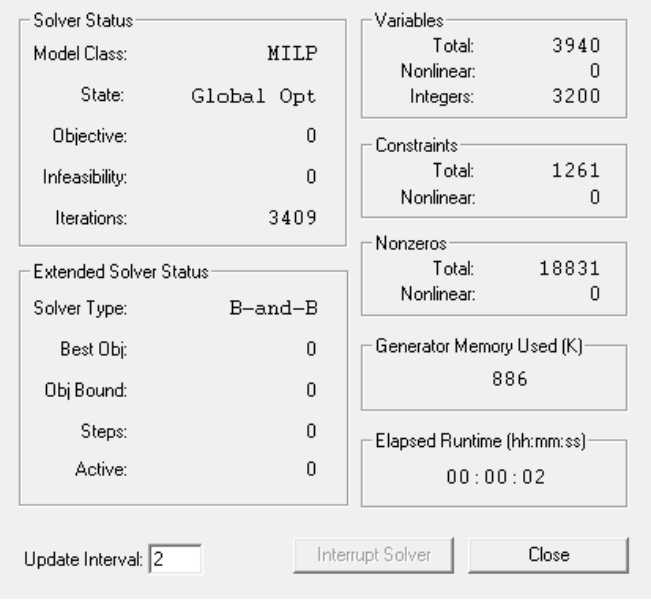
Tabel 2 Jarak antar titik (km)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	0	16,4	13,6	17,3	29,2	103	104	104	104	108
2	16,4	0	11	17	122	126	121	126	128	131
3	13,6	11	0	3,6	22,8	116	117	116	118	121
4	17,3	17	3,6	0	21,4	119	121	120	121	124
5	29,2	122	22,8	21,4	0	134	135	134	142	139
6	103	126	116	119	134	0	2,1	3,6	6,8	9,8
7	104	121	117	121	135	2,1	0	1,4	4,7	7,7
8	104	126	116	120	134	3,6	1,4	0	3,5	6,5
9	104	128	118	121	142	6,8	4,7	3,5	0	2,9
10	108	131	121	124	139	9,8	7,7	6,5	2,9	0

3. Hasil dan Pembahasan

Percobaan dilakukan menggunakan *software* LINGO 17.0 yang terhubung dengan Microsoft Excel. Hasilnya kemudian dilakukan perhitungan alokasi logistik yang akan didistribusikan untuk masing-masing lokasi pengungsian.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 1 Hasil LINGO 17.0

Penawaran yang diberikan harus memenuhi permintaan di tiap lokasi pengungsian, yaitu maksimal sebesar 0 permintaan yang tidak terpenuhi. Gambar 1 menunjukkan fungsi objektif mencapai global optimum yang artinya semua permintaan dapat terpenuhi.

3.1 Analisis waktu distribusi

Waktu distribusi didapat dengan menjumlahkan waktu pengiriman dengan waktu bongkar muat setiap kendaraan. Waktu pengiriman diperoleh dari membagi jarak setiap lokasi dengan kecepatan setiap kendaraan.

Persamaan matematis untuk mencari waktu pengiriman yakni $M_{ijkt} = \frac{Y_{ij}}{V_k}$. Waktu distribusi didapat dengan menjumlahkan waktu pengiriman dengan waktu bongkar muat. Persamaan matematis untuk mencari waktu distribusi yakni $G_{ijkt} = M_{ijkt} + L_k$. Hasilnya dirangkum pada Tabel 3.

3.2 Analisis alokasi logistik

Alokasi logistik setiap kendaraan berjalan selama 24 jam mulai dari pembentukan setiap lokasi pengungsian. Setiap kendaraan akan melakukan maksimal 4 tur untuk mendistribusikan semua paket logistik ke setiap lokasi pengungsian. Hasilnya dirangkum pada Tabel 4.

Hasil perhitungan pada Tabel 4 menunjukkan, kendaraan K1 mengalokasikan sebanyak 1059 dus (113 dus mie instan, 946 dus air mineral) dengan 2 tur dari 2800 dus yang dapat diangkut untuk 4 tur. K2 mengalokasikan sebanyak 1833 dus (389 dus mie instan, 1444 dus air mineral) dengan 3 tur dari 2800 dus yang dapat diangkut untuk 4 tur. K3 dan K4 mengalokasikan sebanyak 120 dus air mineral dengan memaksimalkan semua kapasitas angkut kendaraan yang tersedia untuk 4 tur. K5 mengalokasikan sebanyak 90 dus mie instan dengan 3 tur dari 120 dus yang dapat diangkut untuk 4 tur. K6 mengalokasikan sebanyak 65 dus air mineral dengan 3 tur dari 120 dus yang dapat diangkut untuk 4 tur. K7 mengalokasikan sebanyak mengalokasikan sebanyak 90 dus air mineral dengan 3 tur dari 120 dus yang dapat diangkut untuk 4 tur. K8 mengalokasikan sebanyak mengalokasikan sebanyak 30 dus (15 dus mie instan, 15 dus air mineral) hanya dengan 1 tur dari 120 dus yang dapat diangkut untuk 4 tur.

ISBN 978-602-73461-8-5

3.3 Analisis alokasi kendaraan

Kendaraan yang tersedia pada penelitian ini terdiri dari truk sebanyak 2 unit (K1, K2) dengan kapasitas angkut masing-masing 700 dus serta mobil *ranger* sebanyak 6 unit (K3, K4, K5, K6, K7, K8) dengan kapasitas angkut masing-masing 30 dus. Total waktu dan tur tiap kendaraan yang digunakan untuk melakukan distribusi paket logistik dirangkum pada Tabel 5 dan 6.

Hasil perhitungan pada Tabel 6 menunjukkan, K1 melakukan tur ke Kalisari-Prampelan serta Sayung-Kalisari-Prampelan-Jeruksari. K2 melakukan tur ke Sidorejo, Sayung serta Sayung- Kalisari-Prampelan-Sidorejo-Jeruksari-Tegaldowo-Karangjompo-Api-Api. K3 melakukan tur ke Sayung, Kalisari, Sayung serta Tegaldowo. K4 melakukan tur ke Sayung. K5 melakukan tur ke Sidorejo, Prampelan serta Sidorejo kembali. K6 melakukan tur ke Tegaldowo, Pesanggrahan serta tegaldowo kembali. K7 melakukan tur ke Tegaldowo dan Sayung. K8 melakukan tur ke Karangjompo. Tur yang tidak memiliki rute akan dilakukan pergeseran kendaraan oleh tur selanjutnya jika ada, seperti pada tur 1 untuk K1 akan dilakukan pergeseran oleh tur 2 begitu juga dengan tur 3 yang mengalami pergeseran oleh tur 4, yang artinya tur dimulai terhitung dari tur 2 berlanjut ke tur 4, berlaku sama untuk K2 pada tur 3 mengalami pergeseran oleh tur 4, K6 pada tur 1 yang mengalami pergeseran oleh tur 2 dan K7 pada tur 2 yang mengalami pergeseran oleh tur 3.

3.4 Analisis sensitivitas

Pada penelitian ini, sensitivitas dilakukan terhadap perubahan jumlah stok logistik di depot dengan membagi jumlah permintaan dengan stok yang ada di depot karena jumlah stok logistik yang tersedia di depot belum tentu sesuai dengan total permintaan semua lokasi pengungsian. Dari hasil uji coba, didapat bahwa perubahan nilai fungsi yaitu jumlah yang tidak terpenuhi menjadi 2522 dus (air mineral). Sehingga model ini dapat dikatakan sensitif terhadap perubahan variabel stok didepot.

Tabel 3 Waktu distribusi (jam)

Kode Barak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0,71	0,64	0,7325	1,03	2,875	2,9	2,9	2,9	3
2	0,71	0	0,575	0,725	3,35	3,45	3,325	3,45	3,5	3,575
3	0,64	0,575	0	0,39	0,87	3,2	3,225	3,2	3,25	3,325
4	0,733	17	0,39	0	0,835	3,275	3,325	3,3	3,325	3,4
5	1,03	3,35	0,87	0,835	0	3,65	3,675	3,65	3,85	3,775
6	2,875	3,45	3,2	3,275	3,65	0	0,3525	0,39	0,47	0,545
7	2,9	3,325	3,225	3,325	3,675	0,3525	0	0,335	0,4175	0,4925
8	2,9	3,45	3,2	3,3	3,65	0,39	0,335	0	0,3875	0,4625
9	2,9	3,5	3,25	3,325	3,85	0,47	0,4175	0,3875	0	0,3725
10	3	3,575	3,325	3,4	3,775	0,545	0,4925	0,4625	0,3725	0

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 4 Alokasi logistik (dus)

Komo-ditas	Barak	Jenis Kendaraan															
		K1				K2				K3				K4			
		Tur															
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Mie Instan	2	0	0	0	0	0	91	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	113	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	30	5	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	51	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Air Mine-ral	2	0	0	0	120	0	415	0	90	30	0	30	0	30	30	30	30
	3	0	260	0	111	0	0	0	120	0	30	0	0	0	0	0	0
	4	0	440	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	622	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	15	0	0	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	30	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	55	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		0	700	0	359	627	506	0	700	30	30	30	30	30	30	30	30

Tabel 4 Alokasi logistik (dus)

Komo-ditas	Barak	Jenis Kendaraan															
		K5				K6				K7				K8			
		Tur															
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Mie Instan	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
	5	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ISBN 978-602-73461-8-5

Komo-ditas	Barak	Jenis Kendaraan															
		K5				K6				K7				K8			
		Tur															
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Air Mine-ral	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	30	3	5	30	0	30	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		30	30	0	0	30	30	5	30	0	30	30	30	0	0	0	30

Tabel 5 Waktu distribusi kendaraan

Kendaraan	Total Waktu Distribusi (jam)
K1	11,14
K2	14,3225
K3	9,92
K4	5,68
K5	5,585
K6	17,8175
K7	13,02
K8	5,8

Hasil perhitungan pada Tabel 5 menunjukkan, beban waktu pendistribusian masing-masing kendaraan tidak merata disebabkan fungsi tujuan yang difokuskan dalam meminimasi jumlah permintaan yang tidak terpenuhi serta dipengaruhi fungsi kendala (6) dan (12), dimana kendaaraan dapat mendistribusikan ke lebih dari satu titik permintaan selama kapasitas angkut kendaraan tidak melebihi batas maksimum.

Tabel 6 Alokasi kendaraan

Tur	Kendaraan	Rute	Waktu Distribusi (jam)	Tur	Kendaraan	Rute	Waktu Distribusi (jam)
1	K1	0	0	3	K1	0	0
	K2	1-4-5-1	2,5975		K2	0	0
	K3	1-2-1	1,42		K3	1-2-1	1,42
	K4	1-2-1	1,42		K4	1-2-1	1,42
	K5	1-5-1	2,06		K5	1-5-1	2,06
	K6	0	0		K6	1-7-9-1	6,2175

ISBN 978-602-73461-8-5

Tur	Kendaraan	Rute	Waktu Distribusi (jam)	Tur	Kendaraan	Rute	Waktu Distribusi (jam)
2	K7	1-7-1	5,8	4	K7	1-7-1	5,8
	K8	1-8-1	5,8		K8	0	0
	K1	1-3-4-1	2,105		K1	1-2-3-4-5-6-1	9,035
	K2	1-2-1	1,42		K2	1-2-3-4-5-6-7-8-10-1	10,31
	K3	1-3-1	1,28		K3	1-7-1	5,8
	K4	1-2-1	1,42		K4	1-2-1	1,42
	K5	1-4-1	1,465		K5	0	0
	K6	1-7-1	5,8		K6	1-7-1	5,8
	K7	0	0		K7	1-2-1	1,42
	K8	0	0		K8	0	0

4. Kesimpulan dan Saran

a. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan serta menjawab tujuan penelitian, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jumlah yang dialokasikan sesuai dengan permintaan yang ada, dengan kata lain fungsi tujuan model bernilai 0 yang artinya semua permintaan dapat dipenuhi. Selain itu, dengan alokasi logistik terebut, BPBD Jawa Tengah sebagai depot dapat meminimalisir penumpukan logistik di titik tertentu karena pendistribusian dilakukan merata sesuai jumlah permintaan.
2. Rute yang terbentuk dapat dijadikan pertimbangan bagi BPBD Jawa Tengah sebagai depot untuk menentukan rute distribusi logistik pada dua daerah berbeda yang terkena dampak bencana secara bersamaan karena dapat menghemat waktu pendistribusian yaitu kurang dari 24 jam.

b. Saran

Saran yang dapat disampaikan penulis untuk pengembangan penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dapat dikembangkan dengan mencoba mempertimbangkan variabel-variabel baru, misal multidepot agar stok logistik yang tersedia jumlahnya semakin besar.

2. Penelitian masih memiliki kekurangan karena tidak mempertimbangkan aspek biaya serta rasio, untuk penelitian selanjutnya dapat memperhitungkan aspek biaya agar dapat mengetahui anggaran yang dibutuhkan untuk biaya tranportasi serta aspek rasio agar jika stok yang tersedia lebih kecil dari jumlah pendistribusian, pengalokasian dapat didistribusikan merata untuk setiap titik pengungsian.

3. Dalam penerapan untuk permasalahan skala besar membutuhkan aplikasi lain yang mendukung karena LINGO tidak mampu untuk memecahkan masalah yang terlalu kompleks, misal menggunakan MATLAB.

ISBN 978-602-73461-8-5

Daftar Pustaka

'--- ' (2007). Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007.

Cahyo, M. N., 2015, Perbandingan Kecepatan Rata-Rata Kendaraan dengan Kecepatan Arus Bebas, *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur universitas 17 Agustus 1945 Samarinda,* Vol. 4 pp. 983-991.

Christian, S., 2013, Penerapan Linear Programming untuk Mengoptimalkan Jumlah Produksi dalam Memperoleh Keuntungan Maksimal pada CV Cipta Unggul Pratama, *Journal The WINNERS,* Vol. 14 pp. 55-60.

Hutomo, A. R., et al., 2011, Implementasi Algoritma Integer Linear Programming untuk Sistem Informasi Penjadwalan Ruangan di Fakultas Ilmu Komputer Universitas Indonesia, *Journal of Information Systems,* Vol. 7 pp. 25-33.

Mulyani, F., Bintoro, A. G., and Ai, T. J., 2014, Mixed Integer Linear Programming untuk Pemodelan Distribusi Logistik Bencana, *Rekayasa dan Inovasi Teknologi untuk Peningkatan Kualitas Hidup Bangsa*, pp. 247-249.

Oktarina, R., 2009, Konseptual Perancangan Sistem Informasi Manajemen Logistik Penanggulangan Bencana Berbasis GIS di Indonesia, pp. B16-B22.

Saptadi, G., & Djamal, H. 2012, Kajian Model Desa Tangguh Bencana dalam Kesiapsiagaan Penanggulangan Bencana bersama BPBD D.I Yogyakarta*, Penanggulangan Bencana,* Vol. 3 pp. 55-67.

Sulistyawan, A., 2016, Penentuan Lokasi Gudang Darurat Bencana di Provinsi DKI Jakarta dengan Pendekatan Cluster Analysis dan MCDM, *Jurnal MIX*, Vol.6 pp. 462-480.

Tambunan, R., A., 2017, *Tugas Akhir: Optimasi Distribusi Logistik Bencana Gunung Merapi dengan Metode Integer Linier Programming*, Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.

Thomas, A. S., and Kopczak, L. R., 2005, *From Logistics to Supply Chain Management: The Path Forward in the Humanitarian Sector*, Fritz Institute, San Francisco.

ISBN 978-602-73461-8-5

Optimasi Sandar Kapal Menggunakan Simulasi Sistem di Dermaga I PT ASDP Indonesia Ferry (PERSERO) Cabang Merak

Dyah Lintang Trenggonowati, Ratna Ekawati, Asep Ridwan, Manuhara Bramandipo Topani
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman KM. 3 Cilegon, Banten 42435
E-mail: dyahlintang@untirta.ac.id

Intisari

PT. ASDP Indonesia Ferry (persero) cabang Merak adalah perusahaan jasa angkut penyebrangan dan pengelolaan pelabuhan penyebrangan untuk penumpang, kendaraan dan barang. PT. ASDP Indonesia Ferry (persero) cabang Merak merupakan pelabuhan yang menghubungkan pulau Jawa dan Sumatra. Perusahaan penyedia jasa pelabuhan seperti ini selalu mengutamakan kepuasan pelanggan sehingga PT. ASDP Indonesia Ferry (persero) cabang Merak memiliki target yaitu setiap dermaga harus mampu melayani kapal sandar sebanyak 24 kali atau jumlah trip pada setiap dermaga sebanyak 24 trip. Akan tetapi, target tersebut belum bisa di capai dengan baik terbukti pada tanggal 1 Januari 2017 jumlah trip di dermaga I hanya mencapai 22 trip. Peneliti bertujuan untuk mengoptimalkan waktu sandar, menentukan waktu optimal dan membuat usulan perbaikan guna mencapai target. Berdasarkan dengan penelitian sebelumnya, peneliti akan menggunakan simulasi sistem sebagai metode untuk memecahkan masalah ini. Simulasi dilakukan dengan bantuan software ARENA 14. Berdasarkan hasil dari simulasi sistem didapatkan waktu optimal adalah 62 menit dengan melakukan perbaikan membuat standar untuk kecepatan menjadi minimal 12 knot, untuk besar kapal menjadi 8000 GRT, tinggi pintu masuk kapal menjadi minimal 8 meter dan STC selaku pihak yang mengatur lalu lintas kapal harus bersikap tegas dan dapat mengatur lalu lintas laut dengan baik. Dengan usulan perbaikan tersebut PT. ASDP Indonesia Ferry (persero) cabang merak dapat mencapai target yang direncanakan.

Kata kunci: ARENA, Optimasi, Pelabuhan, Simulasi

1. Pendahuluan

Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran, Pelabuhan adalah tempat yang terdiri atas daratan dan/atau perairan dengan batasan-batasan tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan pengusahaan yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, naik turun penumpang, dan/atau bongkar muat barang, berupa terminal dan tempat berlabuh kapal yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan antara moda transportasi.

PT. ASDP Indonesia Ferry (persero) cabang Merak adalah perusahaan penyedia jasa pelabuhan. Dalam menjaga kualitasnya, perusahaan pelabuhan yang memiliki 5 buah dermaga ini memiliki target bahwa setiap harinya, terhitung dari jam 08:00 hingga jam 08:00 di hari selanjutnya, setiap dermaga diharuskan melayani kapal sandar sebanyak 24 kali atau setiap dermaga mendapatkan 24 trip setiap harinya. Akan tetapi target tersebut belum bisa dicapai dengan baik, salah satunya terbukti pada tanggal 1 Januari 2017 dermaga I hanya mampu melayani proses sandar sebanyak 22 kali. Peneliti akan

PRESENTASIKAN TIDAK

ISBN 978-602-73461-8-5

melakukan simulasi proses sandar yang bertujuan untuk menentukan waktu optimal waktu sandar dan membuat usulan perbaikan yang harus dilakukan PT. ASDP Indonesia Ferry (persero) cabang Merak untuk mencapai target yang telah ditetapkan prusahaan.

Simulasi didefinisikan sebagai tiruan dari sebuah sistem dinamis dengan menggunakan model computer untuk melakukan evaluasi dan mengingkatkan kinerja sistem (Harrell, 2000). Banyak praktisi menggunakan pemodelan dan simulasi sistem sebagai solusi untuk melakukan suatu *improvement*. Berikut ini adalah keuntungan menggunaan simulasi (Utami, 2006).

1) Simulasi mampu mengembangkan model dari sistem sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih baik terhadap sistem nyata.
2) Simulasi jauh lebih umum dibandingkan model matematik dan dapat digunakan dimana model analitik matematik tidak dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan.
3) Model simulasi memberikan replikasi yang lebih realistis terhadap sistem nyata karena memerlukan asumsi yang lebih sedikit.

Program ARENA adalah sebuah *software* simulasi yang diterbitkan oleh Rockwell *Software* Inc. Menurut Kelton, dkk. (2009), *Software* ARENA ini menyediakan alternatif model simulasi grafik dan model simulasi analisis yang dapat dikombinasikan untuk menciptakan model-model simulasi yang cukup luas dan bervariasi. *Software* ini memiliki kemampuan animasi dua dimensi. ARENA juga memiliki tingkat kompatibilitas yang baik. Kemampuan animasinya dapat ditunjang dari AutoCad. ARENA dispesialisasikan untuk menyelesaikan masalah-masalah Simulasi Sistem Diskrit. Kelebihan lain dari ARENA adalah memiliki kemampuan pengolahan data statistik, walaupun tidak begitu lengkap (Utami, 2006).

2. Metode

Studi pendahuluan merupakan langkah awal yang dilakukan oleh peneliti dalam mendapatkan informasi mengenai kondisi demarga dan pelayanan di PT. ASDP Indonesia Ferry (Persero) Cabang Merak. Hasil dari studi pendahuluan ini adalah peneliti mendapatkan informasi terkait dengan proses sandar, kapan juga lamanya waktu sandar kapal dan waktu bongkar muat kapal yang nantinya akan dijadikan sebagai dasar dari penelitian ini. Dalam studi pendahuluan dilakukan dua hal, yaitu studi literatur guna mendapatkan teori-teori pendukung yang berhubungan dengan pemodelan sistem bongkar muat dengan menggunakan pemodelan dengan *software* ARENA dan observasi lapangan yang berguna untuk mengetahui secara langsung proses sandar dan dapat melihat masalah yang ada secara langsung, sehingga dapat menentukan langkah yang tepat untuk memecahkan masalah yang ada.

Selanjutnya yaitu menentukan rumusan masalah yang merupakan dasar dari penelitian ini sehingga dapat mendapatkan tujuan yang efektif terhadap masalah yang ada. Adapun batasan masalah dari penelitian ini yaitu data yang digunakan adalah data histori perusahaan mulai tanggal 26 Desember 2017 sampai dengan 4 Januari 2018. Data tersebut diambil dengan dua cara, yaitu dengan proses wawancara langsung kepada pihak PT. ASDP Indonesia Ferry (Persero) Cabang Merak dan pengamatan langsung ke lapangan untuk mencatat waktu setiap prosesnya.

Masuk pada tahap proses pengolahan data yang pertama yaitu mendeskripsikan sistem yang ada lalu membuat model konseptual. Selanjutnya masuk ke tahap model simulasi, dalam tahapan ini terdapat tiga langkah yang dilakukan peneliti pertama yaitu melakukan pengujuan data untuk menentukan jenis distribusi dan juga kelayakan dari data tersebut. Lalu dari data tersebut peneliti rangkum yang terdiri dari 7 data waktu yaitu waktu kedatangan kapal, waktu olah gerak kapal, waktu sandar kapal, waktu bongkar kapal, waktu

TIDAK DIPERBANYAKAN

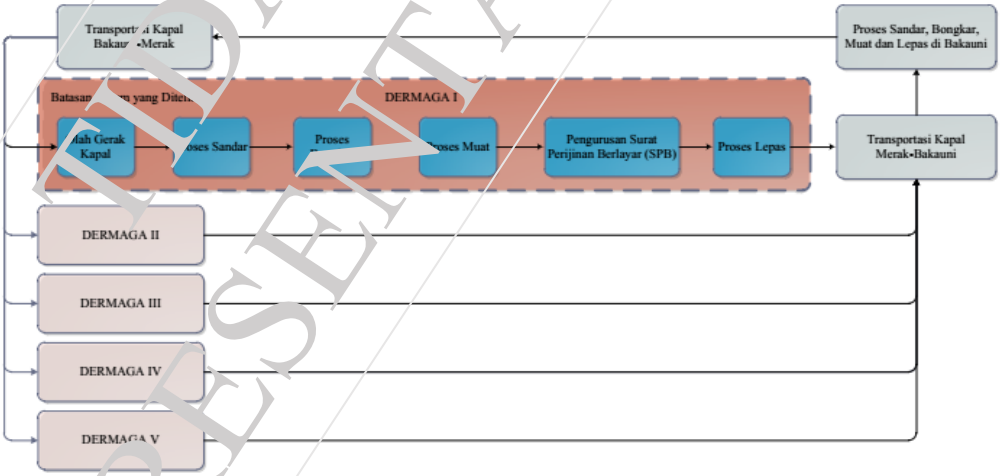
ISBN 978-602-73461-8-5

muat kapal, waktu pembuatan SPB (Surat Perijinan Berlayar) dan waktu lepas. Data tersebut digunakan dalam perancangan model simulasi. Tahap ini dilakukan bertujuan untuk menterjemahkan model konseptual dari sistem sandar di Pelabuhan Merak menjadi sebuah model simulasi. Fokus utama dalam tahap ini adalah menentukan dan mendefinisikan elemen-elemen yang ada ke dalam simulation software tool. Dalam model yang dibangung memiliki 4 modul data yaitu *entities, create, process, dan dispose*.

Tahap selanjutnya yaitu memverifikasi dan validasi model simulasi yang telah dibuat peneliti guna mengetahui apakah model sudah menggambarkan system nyata atau belum. Uji statistik yang digunakan untuk melakukan validasi model adalah uji *Paired Sample T-Test.* Setelah model dikatakan valid maka peneliti melakukan pengembangan model alternatif untuk merancang perbaikan yang sesuai dengan masalah yang ada. Setelah peneliti membuat alternatif sebanyak dua alternatif, alternatif tersebut harus melewati uji statistik guna mengetahui apakah alternative perbaikan yang diusulkan layak atau tidak dengan menggunakan uji *One Way* Anova dan *Least Significance Difference* (LSD) sehingga peneliti dapat menentukan alternatif terbaik. (Trenggonowati, 2015). Analisis dan pembahasan dalam penelitian kali ini akan membahas hasil dari setiap pengolahan data dan juga membuat analisa perbaikan yang layak untuk menjadi usulan perbaikan di PT. ASDP Indonesia Ferry (persero) cabang Merak nantinya.

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 1. di bawah ini adalah hasil dan pembahasan dari uraian tahapan penelitian ini. Pertama yaitu Relevant Sistem dari peneltian ini yang menggambarkan sistem secara keseluruhan di PT. ASDP Indonesia Ferry (persero) cabang Merak.



Gambar 1. Relevant sistem

Setelah mengetahui sistem secara keseluruhan dan sistem yang akan di simulasikan maka peneliti mengambil data waktu setiap prosesnya dan dilakukan uji Stat-Fit guna mendapatkan jenis distribusi dan juga kelayakan dari data tersebut.

Tabel 1. Rangkuman hasil stat fit

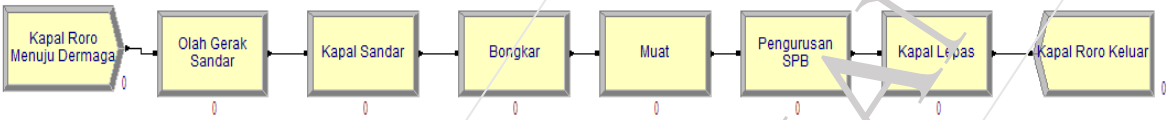
Jenis Data	Waktu
Antar Kedatangan Kapal	Lognormal (64.333, 11.684)
Olah Gerak	Lognormal (6.577, 1.654)
Waktu Sandar	Lognormal (5.958, 0.509)
Bongkar	Lognormal (19.906, 6.044)
Muat	Lognormal (19.906, 6.044)

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Jenis Data	Waktu
Pengurusan SPB	Lognormal (6.002, 0.468)
Waktu Lepas	Normal (5.986, 1.865)

Tabel 1. adalah hasil pengujian data yang akan dijadikan sebagai dasar peneliti membuat model simulasi. Sistem yang akan simulasikan yaitu berawal dari proses olah gerak , proses sandar, proses bongkar, proses muat, proses pembuatan SPB (Surat Perijinan Berlayar) dan proses lepas dengan kapal roro sebagai *entities*. Gambar 2 di bawah ini adalah *module flowchart* keseluruhan dan *run setup* dari sistem yang dibuat menggunakan *software* Arena 14.



Gambar 2. *Flowchart Module* model eksisting

Pada Gambar 2. juga menampilkan sistem sandar kapal di PT. ASDP Indonesia Ferry (persero) cabang Merak. Tahap pertama yaitu kapal roro menuju ke pelabuhan Merak dengan waktu kedatangan berdistribusi lognormal (64.233, 11.484) menit. Selanjutnya masuk dalam proses olah gerak sandar dimana kapten kapal mengemudikan kapal hingga mesin dimatikan di dermaga, waktu olah gerak berdistribusi lognormal (6.577, 1.654) menit. Setelah mesin dimatikan petugas kapal dan petugas dermaga menurunkan tali untuk sandar kapal hingga bersandar sempurna setelah itu jembatan penghubung penumpang dan kendaraan diturunkan, proses ini dinamakan proses sandar dengan waktu berdistribusi lognormal (5.958, 0.509) menit. Setelah kapal terparkir sempurna dan penghubung sudah diturunkan sempurna penumpang dan kendaraan dalam kapal diatur untuk meninggalkan kapal tersebut melalui jembatan penghubung yang telah disediakan mulai pejalan kaki, kendaran bermotor, kendaran roda 4, dan kendaraan roda 4 atau lebih, proses ini disebut proses bongkar dengan waktu berdistribusi lognormal (19.906, 6.044). Selanjutnya yaitu proses muat dimana setelah kapal kosong, penumpang dan kendaraan baru yang ingin menyebrang ke lampung segera memasuki kapal dengan jalur yang sama yaitu jembatan penghubung yang telah tersedia mulai pejalan kaki, kendaran bermotor, kendaran roda 4, dan kendaraan roda 4 atau lebih. Proses muat ini berdistribusi lognormal (19.906, 6.044). Setelah kapal penuh dengan penumpang dan kendaraan, petugas membuat laporan rekapan struktur organisasi di kapal, ketersediaan terkait dengan keselamatan di kapal serta fasilitas yang ada di kapal dan jumlah penumpang dan kendaraan yang diangkut ke pihak PT. ASDP Indonesia Ferry (persero) cabang Merak setelah disetujui oleh pihak PT. ASDP Indonesia Ferry (persero) cabang Merak kapal baru boleh diijinkan berangkat. Proses ini disebut dengan pengurusan SPB (Surat Perijinan Berlayar) dengan waktu berdistribusi lognormal (6.002, 0.468). Proses terakhir adalah proses lepas, dimana petugas kapal menaikan tali dan seluruh jembatan penghubung lalu meninggalkan dermaga dengan waktu berdistribusi normal (5.986, 1.865). Lalu kapal berlayar ke pelabuhan bakahuni dan petugas STC *(Ship Traffic Control)* segera menghubungi kapal selanjutnya untuk memasuki dermaga.

Simulasi akan dijalankan selama 24 jam atau dalam 1 hari dan dilakukan replikasi sebanyak 10 kali. Gambar 3. sampai Gambar 6. di bawah ini adalah data yang peneliti *input* ke dalam model berupa *module*.

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

1) *Module* Data – *Entities*

Entity - Basic Process

	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1	Kapal RoRo	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	☑

Gambar 3. *Entities*

2) *Create Module*

Create - Basic Process

	Name	Entity Type	Type	Expression	Units	Entities per Arrival	Max Arrivals	First Creation
1	Kapal Roro Menuju Dermaga	Kapal RoRo	Expression	LOGN(65.767, 11.001)	Minutes	1	Infinite	0.0

Gambar 4. *Create Module*

3) *Process Module*

Process - Basic Process

	Name	Type	Action	Delay Type	Units	Allocation	Expression	Report Statistics
1	Olah Gerak Sandar	Standard	Delay	Expression	Minutes	Value Added	LOGN(6.577 ,1.654	☑
2	Kapal Sandar	Standard	Delay	Expression	Minutes	Value Added	LOGN(5.958 , 0.509)	☑
3	Bongkar	Standard	Delay	Expression	Minutes	Value Added	LOGN([illegible] ,6.044)	☑
4	Muat	Standard	Delay	Expression	Minutes	Value Added	LOGN(19.906 , 6.044)	☑
5	Pengurusan SPB	Standard	Delay	Expression	Minutes	Value Added	LOGN(6.[illegible]2 ,0.468)	☑
6	Kapal Lepas	Standard	Delay	Expression	Minutes	Value Added	NORM(5.986 , 1.865)	☑

Gambar 5. *Process Module*

4) *Dispose Module*

Dispose - Basic Process

	Name	Record Entity Statistics
1	Kapal Roro Keluar	☑

Gambar 6. *Dispose Module*

Setelah model simulasi di running selama 24 jam dan di replikasi sebanyak 10 kali maka peneliti mendapatkan hasil output seperti Tabel 2. dan Tabel 3. di bawah ini.

Tabel 2. Hasil model *existing*

Replikasi	**Jumlah Kapal Roro yang Telah di Layani di Pelabuhan Merak**
1	23 kapal
2	23 kapal
3	22 kapal
4	22 kapal
5	21 kapal
6	20 kapal
7	21 kapal
8	20 kapal
9	22 kapal
10	21 kapal

Tabel 3. Perhitungan uji kecukupan replikasi

Replikasi	**Jumlah Kapal Roro yang Dilayani (Xi)**	$\bar{X}$	**Xi -** $\bar{X}$	$(Xi - \bar{X})^2$
1	23	21.5	1,5	2,25
2	23		1,5	2,25
3	22		0,5	0,25
4	22		0,5	0,25
5	21		-0,5	0,25
6	20		-1,5	2,25
7	21		-0,5	0,25
8	20		-1,5	2,25
9	22		0,5	0,25
10	21		-0,5	0,25
Total				**10,5**

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Selanjutnya, peneliti melakukan uji replikasi guna mengetahui apakah apakah hasil yang didapat sudah cukup mewakili sistem simulasi atau belum. Berikut ini adalah perhitungan uji kecukupan replikasi.

Contoh Perhitungan:

$\bar{X}$ = (23+23+22+…+21)/10 = 21,3.....(1)

$X_1 - \bar{X}$ = 23 – 21,5 = 1,5.....(2)

$(X_1 - \bar{X})^2$ = $(1{,}5)^2$ = 2,25.....(3)

Total = $\sum(X_1 - \bar{X})^2$ = 10,5.....(4)

Setelah Itu mencari nilai s, dengan perhitungan sebagai berikut.

s = $\sqrt{\frac{\sum(X_1-\bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{10{,}5}{10-1}}$ = 1,08.....(5)

Setelah didapat nilai s dapat melanjutkan mencari nilai e, dengan perhitungan sebagai berikut.

e = $\frac{(t_{n-1,\alpha})s}{\sqrt{n}} = \frac{2{,}26\ x\ 1{,}08}{\sqrt{10}}$ = 0,77.....(6)

Catatan : nilai $t_{n-1,\alpha} = t_{(9;0{,}05)}$ = 2.26 didapat dari table t.

Kemudian hasil s dan e digunakan dalam persamaan n', dengan perhitungan sebagai berikut.

n' = $\left[\frac{\left(Z\alpha_{/2}\right)s}{e}\right]^2 = \left[\frac{1{,}96\ x\ 1{,}08}{0{,}77}\right]^2$ = 7,52 ≈ 8.....(7)

Catatan : nilai $Z\alpha_{/2} = Z_{0{,}025}$ = 1.96 didapat dari table Z

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa jumlah replikasi sudah cukup mewakili hasil simulasi dengan pembulatan jumlah replikasi lebih besar dibandingkan dengan n'. Langkah selanjutnya adalah melakukan validasi model dengan menggunakan uji *paired sample t-test*. Uji *paired sample t-test* digunakan karena peneliti akan membandingkan hasil *model existing* dengan hasil output sistem nyata. Uji *paired sample t-test* dilakukan dengan bantuan software SPSS 20. Berikut adalah perhitungan *paired sample t-test.*

Hipotesis yang digunakan:

H_0 : $\mu_1 = \mu_2$. Tidak terdapat perbedaan antara model eksisting dengan sistem nyata

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2$. Terdapat perbedaan antara model eksisting dengan sistem nyata

Dimana,

μ_1 = Output Model *Existing*

μ_2 = Output Sistem Nyata

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1	SISTEM_NYATA - MODEL_EKSISTING	.30000	1.56702	.49554	-.82098	1.42098	.605	9	.560

Gambar 7. *Output* Uji *Paired Sample T-Test* dengan *Software* SPSS

Berdasarkan output uji *Paired Sample T-Test* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. dengan menggunakan software SPSS 20 dan dapat dilihat bahwa nilai *significance* 2-*tailed* adalah 0.560 yang berarti lebih besar dibandingkan nilai signifikansi α (0.05), dan *confidence* interval-nya berada direntang yang melewati 0, maka dapat disimpulkan terima H_0 atau tidak terdapat perbedaan antara model eksisting dengan sistem nyata yang berarti model eksisting dikatakan *valid*.

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Selanjutnya adalah pengembangan model alternatif. Skenario alternatif yang peneliti usulkan ada dua yaitu.

Skenario 1, adalah menargetkan waktu bongkar dan waktu muat menjadi 18 menit untuk bongkar dan 18 menit untuk muat.

Skenario 2, adalah skenario satu ditambah dengan interval kedatangan kapal ditargetkan 60 menit.

Betikut Tabel 4. di bawah ini rangkuman skenario alternatif yang peneliti usulkan.

Tabel 4. Rangkuman Perancangan Skenario

Perancangan Skenario	Waktu Antar Kedatangan	Bongkar	Muat
Skenario 1	lognormal (64,333; 11,684) menit	18 menit	18 menit
Skenario 2	60 menit	18 menit	18 menit

Setelah itu didapatkan *output* dari skenario 1 dan skenario 2 seperti ditunjukkan pada Tabel 5. dan Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 5. Hasil Skenario

Replikasi	Jumlah Kapal Roro yang telah dilayani di Pelabuhan Merak
1	21
2	23
3	21
4	22
5	23
6	22
7	23
8	21
9	21
10	23

Tabel 6. Hasil Skenario 2

Replikasi	Jumlah Kapal Roro yang telah dilayani di Pelabuhan Merak
1	24
2	24
3	24
4	23
5	24
6	24
7	23
8	24
9	23
10	24

Tabel 7. Data hasil Model Eksisting, Skenario 1, dan Skenario 2

Replikasi	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2
1	23	21	24
2	23	22	24
3	22	21	24
4	22	22	23
5	21	21	24
6	20	21	24
7	21	22	23

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Replikasi	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2
8	20	21	24
9	22	20	23
10	21	22	24
Rata-rata	21,3	22	23,7

Berdasarkan hasil output skenario 1 dan skenario 2, peneliti akan memilih alternatif terbaik. Alternatif terbaik akan dipilih dengan bantuan pengujian lanjutan yaitu uji *one way* anova pada Tabel 7. yang berguna untuk melihat apakah ada perbedaan yang signifikan antara model eksisting dengan skenario yang diusulkan. Uji *one way* anova dilakukan dengan perhitungan manual dan *software* SPSS 20. Berikut ini adalah tahapan perhitungan manual uji *one way* anova:

2) Hipotesis yang digunakan adalah :
   H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$. Tidak terdapat perbedaan antara model eksisting, skenario 1 dan skenario 2.
   H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$. Setidaknya ada satu perbedaan antara model eksisting, skenario 1 dan skenario 2.
   Dimana,
   μ_1 = Model Eksisting
   μ_2 = Skenario 1
   μ_3 = Skenario 2
   Dengan nilai α yang digunakan adalah 95% sebagai taraf signifikan.

3) Wilayah Kritik : Tolak H_0 jika F hitung > $F_{\alpha,k-1,N-1}$
   F_{tabel} didapatkan pada table F dengan nilai signifikansi 0,05. Berikut tahapan mendapatkan F_{tabel}.
   F_{tabel} = $F_{(\alpha,df1,df2)}$ .....(8)
   = $F_{(\alpha,Jumlah\ Variabel-1,Jumlah\ Data-Jumlah\ Variabel)}$
   = $F_{(0,05;2;27)}$ = 3,35
   Sehingga Tolak H_0 jika, F hitung > 3,35 (Didapatkan dengan membaca table F)

4) Perhitungan Anova
   Dengan persamaan dalam uji *one way anova*, dapat dihitung
   a) Jumlah Kuadrat (*Sum of Square*)
   SS_{total} = $\sum_{t=1}^{k}\sum_{j=1}^{n} y_{ij}^2 - \frac{T^2}{na}$ .....(9)
   = $(23^2 + 22^2 + \ldots + 24^2) - \frac{(21,3+22+23,7)^2}{30} = 47,2$
   SS_{treat} = $\frac{\sum_{i=1}^{k} T_j^2}{n} - \frac{T^2}{na}$ .....(10)
   $\frac{213^2+220^2+237^2}{10} - \frac{(213+220+237)^2}{30} = 26,6$
   SS_{error} = $SS_{total} - SS_{treat}$ .....(11)
   = 47,2 – 26,6 = 20,6

   b) Derajat Kebebasan (*Degree of Freedom*)
   df_{treat} = 3 – 1 = 2.....(12)
   df_{error} = (3 x 10) – 3 = 27.....(13)
   df_{total} = (3 x 10) -1 = 29.....(14)

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

c) Rata-rata Kuadrat (*Mean Square*)

$MS_{treat} = \frac{SS_{treat}}{df_{treat}} = \frac{26,6}{2} = 13,3$ .....(15)

$MS_{error} = \frac{SS_{error}}{df_{error}} = \frac{20,6}{27} = 0,7629$ .....(16)

Kemudian dapat mencari F hitung dengan persamaan sebagai berikut.

$F_{hitung} = \frac{MS_{treat}}{MS_{error}} = \frac{13.3}{0.7629} = 17,432$.....(17)

Sehingga dapat disimpulkan tolak H_o, karena nilai F hitung = 17,432 > F table = 3,35 yang berarti setidaknya ada satu perbedaan antara model eksisting, skenario 1 dan skenario 2. Sedangkan Tabel 8. berikut ini adalah hasil uji *one way* anova dengan *software* SPSS 20.

Tabel 8. Hasil *Output Sofware* SPSS 20 Uji *One Way Anova*

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	26.600	2	13.300	17.432	.000
Within Groups	20.600	27	.763		
Total	47.200	29			

Berdasarkan hasil perhitungan manual dan dengan bantuan software SPSS 20 memiliki nilai F hitung yang sama yaitu 17,432 dan dapat disimpulkan bahwa H_o di tolak yang berarti setidaknya ada satu perbedaan antara model eksisting,

Tahap selanjutnya adalah melakukan uji LSD (*Least Significance Difference),* yang bertujuan untuk melihat seberapa signifikan perbedaan antara model eksisting, skenario 1 dan skenario 2. Berikut ini adalah perhitungan uji LSD.

$t_{(df(error),\frac{\alpha}{2})} = t_{(27;0,025)} = 2,05$.....(18)

Nilai t diatas didapatkan dari table t, Setelah mendapatkan nilai t peneliti dapat mecari nilai LSD.

$LSD_{(\alpha)} = t_{(df(error),\frac{\alpha}{2})}\sqrt{\frac{2(MS_{error})}{i}}$ .....(19)

$= 2,05 \text{ x } \sqrt{\frac{2 \text{ x } 0,7629}{10}} = 0,801$

Setelah nilai LSD peneliti dapat, maka peneliti masuk ke tahap selanjutnya yaitu menghitung nilai absolut dari selisih antara model yang akan dibandingkan. Jika $|\overline{X_1} - \overline{X_2}| > LSD_{(\alpha)}$ maka terdapat perbedaan yang signifikan antara model yang dibandingkan.

Tabel 9. Perbandingan *Least Significance Difference*

	Skenario 1 $\overline{X_2}$ **= 22**	**Skenario 2** $\overline{X_3}$ **= 23,7**
Eksisting $\overline{X_1}$ **= 21,3**	$\|\overline{X_1} - \overline{X_2}\|$ = 0,7 *Unsignificant* (0 < 0,801)	$\|\overline{X_1} - \overline{X_3}\|$ = 2,4 *Significant* (2,4 > 0.801)
Skenario 1 $\overline{X_2}$ **= 22**		$\|\overline{X_1} - \overline{X_2}\|$ = 1,7 *Significant* (1,7 > 0,801)

Pada Tabel 9. menampilkan hasil dari perbandingan LSD yang dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara model eksisting dan skenario 2 juga pada

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

skenario 2 dan skenario 1 terdapat perbedaan yang signifikan tetapi pada model eksisting tidak terdapat perbedaan yang signifikan dengan skenario 1. Untuk memperkuat hasil perhitungan uji LSD, peneliti melakukan pengujian yang sama hanya saja uji LSD kali ini menggunakan bantuan software SPSS 20. Tabel 10. berikut ini adalah hasil perhitungan uji LSD dengan software SPSS 20.

Tabel 10. Hasil *Output Sofware* SPSS 20 Uji *Least Significance Difference*

(I) DATA	(J) DATA	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Model Eksisting	Sekenario 1	-.50000	.39063	.211	-1.3015	.3015
	Sekenario 2	-2.20000*	.39063	.000	-3.0015	-1.3985
Sekenario 1	Model Eksisting	.50000	.39063	.211	-.3015	1.3015
	Sekenario 2	-1.70000*	.39063	.000	-2.5015	-.8985
Sekenario 2	Model Eksisting	2.20000*	.39063	.000	1.3985	3.0015
	Sekenario 1	1.70000*	.39063	.000	.8985	2.5015

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Pada Tabel 10 menampilkan hasil dari perbandingan LSD berdasarkan *output software* SPSS 20. Dapat dilihat bahwa hasil perhitungan manual dengan hasil perhitungan menggunakan *software* SPSS 20 sama di buktikan dengan seluruh perbandingan skenario memiliki nilai *significance* dibawah α (0,05) kecuali perbandingan antara model eksistin dengan skenario 1 yang memiliki nilai *significance* diatas nilai α (0,05).

Tabel 11. Perbandingan Hasil Simulasi

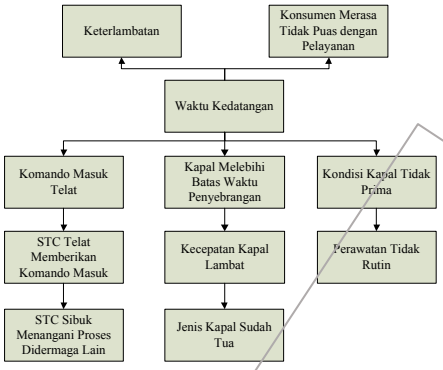
Model	Waktu Antar Kedatangan	Waktu Bongkar	Waktu Muat	Rata-Rata Trip	Waktu Optimal
Eksisting	lognormal (64,333; 11,684) menit	Lognormal (19,906; 6,044) menit	Lognormal (19,906; 6,044) menit	21,3 trip	67 menit
Skenario 1	Lognormal (64,333; 11,684) menit	18 menit	18 menit	22 trip	61 menit
Skenario 2	60 menit	18 menit	18 menit	23,7 trip	61 menit

Pada Tabel 11. membandingkan hasil rata-rata jumlah *trip* dari setiap model. Skenario satu mendapatkan hasil rata-rata 22 trip yang masih jauh untuk mencapai target 24 *trip* sehingga skenario satu tidak bias diambil menjadi solusi. Sedangkan pada skenario dua mendapatkan hasil rata-rata 23,7 *trip* atau bisa dibulatkan menjadi 24 sehingga target PT. ASDP Indonesia Ferry (persero) cabang Merak sudah tercapai dengan waktu optimal yaitu 61 menit.

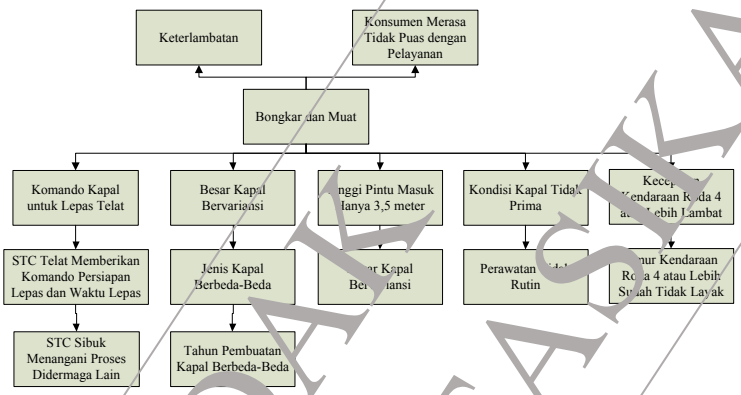
Peneliti melakukan analisa menggunakan diagram analisis akar masalah guna mengetahui penyebab terjadinya keterlambatan baik dari segi waktu kedatangan atau proses bongkar dan muat. Kemudian peneliti dapat memberikan usulan perbaikan.

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 8(a) Diagram Analisis Akar Masalah Waktu Antar Kedatangan



Gambar 8(b) Diagram Analisis Akar Masalah Proses Bongkar dan Muat

Berdasarkan Gambar 8 (a) maka solusi yang dapat diusulkan adalah STC diberi pelatihan untuk mengatur lalu lintas laut agar berjalan lebih baik, penyamarataan kecepatan kapal menjadi minimal 12 knot, maksimal pemakaian kapal adalah 10 tahun dan dilakukan perawatan rutin minimal 3 bulan sekali untuk pengecekan mesin dan 1 tahun sekali untuk perawatan keseluruhan kapal. Berdasarkan gambar 11 (b) maka solusi yang baik dalam proses bongkar dan muat adalah 15 menit sebelum proses lepas petugas STC harus mengingatkan agar kapal harus siap untuk lepas, ukuran kapal disamaratakan menjadi 8000 GRT sehingga tinggi pintu kapal untuk masuk kendaraan roda 4 atau lebih menjadi minimal 8 meter, maksimal umur kapal yang beroprasi adalah 10 tahun, melakukan perawatan rutin minimal 3 bulan sekali untuk pengecekan mesin dan 1 tahun sekali untuk perawatan keseluruhan kapal dan kendaraan roda empat atau lebih diwajibkan setiap 5 tahun dilakukan peremajaan ulang.

4. Kesimpulan

Model simulasi eksisting proses sandar adalah waktu kedatangan dengan distribusi lognormal (64.333, 11.684) menit lalu proses olah gerak dengan distribusi lognormal (6.577, 1.654) menit selanjutnya kapal melakukan proses sandar dengan distribusi lognormal (5.958, 0.109) menit. Disusul proses bongkar dengan distribusi lognormal (19.906, 6.044) menit dan setelah selesai proses muat langsung dilakukan dengan distribusi lognormal (19.906, 6.044) menit. Setelah selesai petugas kapal membuat SPB (Surat Perijinan Berlayar) dengan waktu berdistribusi lognormal (6.002, 0.468) menit. Diakhiri dengan proses lepas dengan distribusi normal (5.986, 1.865) menit. Proses ini berlanjut selama 24 jam. Waktu optimal dalam proses sandar adalah 61 menit. Hal ini dapat terjadi

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

jika dilakukan perbaikan berupa pelatihan kepada STC untuk mengatur lalu lintas dengan baik, maksimal umur kapal yang beroperasi adalah 10 tahun, umur kendaraan roda empat atau lebih haruslah memenuhi standar maksimal 5 tahun, kecepatan minimal kapal yang beroprasi adalah 12 knot, besar kapal minimal adalah 8000 GRT, tinggi pintu masuk kapal minimal 8 meter dan kapal selalu dilakukan perawatan rutin, sehingga setelah dilakukan perbaikan target perusahaan tercapai.

Daftar Pustaka

Harrell, C. 2000. *Simulation Using Promodel*. McGraw Hill Higher Education. United States of America

Kelton W.D. 2004. *Simulation With Arena* 3rd *Edition*. McGraw Hill. New York

Trenggonowati, D.L. 2015. *Optimasi Proses Produksi dengan Mengunakan Pendekatan Simulasi Sistem*. *Jurnal PASTI Volume XI No. 1, 1-12*

Trenggonowati, D.L. 2017. *Simulation System Optimize The Time Of Process. Jurnal Performa Vol. 16 No. 2 Hal 134-142*

Utami, R. 2006. *Simulasi Dinamika Sistem Ketersediaan Ubi Kayu.* Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Kajian Awal Analisis Pemilihan Supplier dan Jasa Pengiriman Part 3D Printer untuk Mengoptimalkan Biaya Produksi

Elsya Paskaria Loyda, Herianto
S2 Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika NO.2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281
Telp. 081218212634
E-mail : elsya_tarigan@yahoo.com

Intisari

Bisnis 3D printing saat ini sedang berkembang dengan pesat. Para pelaku bisnis biasanya melakukan berbagai strategi untuk merebut pasar secara luas. Hal ini ditandai dengan penjualan produk yang semakin berkembang, baik yang dilakukan secara konvensional ataupun online. Semakin menjamurnya bisnis online secara tidak langsung menyebabkan persaingan harga yang ketat diantara pelaku bisnis. Adanya persaingan harga diantara pelaku bisnis online disebabkan oleh supplier yang berbeda-beda dan juga jasa ekspedisi yang ditawarkan berbeda pula. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan biaya produksi dengan cara pemilihan supplier dan jasa pengiriman dengan pemodelan linear programming. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah total biaya yang diperlukan untuk pengiriman part yang cepat adalah sebesar Rp 900.500 dan untuk pengiriman yang lama adalah sebesar Rp 892.000, dimana selisih antara pengiriman cepat dan lama sebesar Rp 8500. Waktu yang diperlukan untuk pengiriman cepat adalah 9 hari dan pengiriman lama adalah 17 hari, sehingga selisih waktu antara pengiriman cepat dan lama adalah 8 hari. Untuk kondisi ini, dapat disimpulkan bahwa biaya produksi yang optimal adalah sebesar Rp 900.500, walaupun biaya ini lebih mahal namun kondisinya optimal karena dapat mengurangi waktu tunggu selama delapan hari untuk mendapatkan semua part dengan selisih biaya sebesar Rp 8.500.

Kata kunci: 3D printer, bisnis online, supplier, jasa ekspedisi, SCM

1 Pendahuluan

3D printer merupakan salah satu teknologi yang saat ini banyak digunakan dalam dunia industri manufaktur untuk pembuatan *prototype*, produk jadi dalam jumlah kecil, *customized product*, produk-produk yang bernilai tinggi seperti pesawat terbang dan alat-alat yang berkaitan dengan dunia kesehatan (Hopkins et al., 2006). Teknologi yang digunakan oleh mesin 3d printer dikenal dengan *Additive Layer Manufacturing,* yang sudah ada sejak tahun 1980-an. 3D printing juga disebut dengan *additive manufacturing/rapid prototyping* yang sudah digunakan secara luas oleh perusahaan-perusahaan manufaktur sebagai sarana untuk otomasi, mempercepat produksi, dan mengurangi pemborosan material (Perkins dan Skitmore, 2015). Teknologi 3D printing memang masih muda dan memiliki banyak keterbatasan, tetapi memiliki harapan serta ekspektasi yang tinggi untuk masa depan dalam pembuatan model bangunan dan komponen bangunan dengan teknologi 3D printing (Hager dkk, 2016).

Berdasarkan harapan serta ekspektasi yang tinggi untuk masa depan, maka pemilik jasa 3d printing memiliki strategi yang berbeda-beda untuk merebut pasar secara luas, baik dari segi harga, kualitas, dan pelayanan. Hal ini dapat dilihat dengan adanya penawaran produk 3D printing yang beraneka ragam sesuai dengan permintaan pasar. Ada tiga cara untuk meningkatkan daya saing produk, yaitu dengan cara mengurangi biaya produksi,

ISBN 978-602-73461-8-5

meningkatkan *market share*, dan/atau menyesuaiakan harga produk dengan yang ada di pasaran (Dolgui dan Proth, 2010).

Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat bahwa pertumbuhan ekonomi Republik Indonesia pada kuartal I-2017 sebesar 5.01%. Pertumbuhan ekonomi pada kuartal pertama ini didasari oleh beberapa sektor, salah satunya adalah informasi dan komunikasi yang tumbuh sebesar 9,01%. Hal ini didorong dari banyaknya pengguna internet dan salah satu contohnya adalah transaksi online sehingga memberikan dampak pertumbuhan pada sektor informasi dan komunikasi. E-commerce atau bisnis online adalah pelaksanaan bisnis antara perusahaan dan konsumen secara elektronik, sedangkan e-business adalah sebuah perusahaan dengan kemampuan mengubah suatu nilai uang, barang, jasa, dan informasi secara elektronik (Cox dan Dale, 2001).

Sistem belanja online adalah suatu model belanja yang saat ini sedang menjadi trend. Beberapa kelebihan dari sistem belanja online, diantaranya adalah konsumen dapat melihat variasi barang dalam jumlah yang besar, menghemat waktu untuk melakukan pembelian barang, dan dapat membandingkan harga antara supplier dengan cepat. Berdasarkan Top Brand Index 2018, lima toko online yang masuk ke dalam lima besar, yaitu Lazada.co.id (31,8%), Tokopedia.com (18,5%), Shopee.co.id (14,7%), Bukalapak.com (8,7%), dan Blibli.com (8%). Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data dari tokopedia dan bukalapak karena bisa memilih jasa pengiriman sedangkan untuk kajian awal akan memakai data dari tokopedia.

Supply Chain Management atau manajemen rantai pasok merupakan seperangkat pendekatan yang digunakan untuk mengintegrasikan pemasok, produsen, gudang, dan toko secara efisien sehingga barang diproduksi dan didistribusikan pada jumlah, lokasi, dan waktu yang tepat untuk meminimalkan biaya dan mencapai persyaratan kepuasaan pelayanan (Simchi-levi dkk, 2003). Dalam sistem rantai pasok, terdapat drivers yang nantinya akan menentukan efisiensi dan responsiveness dari sebuah perusahaan. *Drivers* tersebut terdiri dari: fasilitas, inventori, transportasi, informasi, *sourcing*, dan harga. Untuk membatasi masalah yang akan dibahas, maka penelitian ini akan berfokus pada tiga drivers yang akan diteliti, yaitu: transportasi, *sourcing*, dan harga.

Dalam suatu bisnis logistik, aktivitas ekonomi yang paling penting diantara semua komponen adalah transportasi, dimana pengeluaran untuk transportasi berkisar satu pertiga dari total biaya logistik yang mempengaruhi sistem logistik secara keseluruhan (Tseng dkk, 2005). Dengan kata lain, apabila kita dapat menekan biaya transportasi, secara tidak langsung kita dapat meminimalkan biaya logistik. Sistem transportasi terbagi menjadi tiga bagian, diantaranya darat, laut, dan udara. Transportasi adalah memindahkan suatu inventori dari suatu titik ke titik lainnya di dalam rantai pasok, transportasi menjadi sangat penting karena suatu jenis produk jarang diproduksi dan dikonsumsi di tempat yang sama (Chopra dan Meindl, 2003)

Sistem pengadaan barang memerlukan adanya pertimbangan untuk menentukan *sourcing*, hal ini diperlukan untuk mencapai suatu sistem yang efektif dan efisien. Penentuan akan pihak yang akan melakukan aktivitas tertentu dalam sebuah rantai pasok atau sering disebut sebagai *sourcing*, dimana aktivitasnya seperti produksi, penyimpanan, transportasi atau manajemen informasi (Chopra dan Meindl, 2003). Sebagai contoh, perusahaan motorola pernah mengontrakkan proses produksi handphone di China. Hal ini menyebabkan meningkatnya efisiensi produksi tetapi mengakibatkan pihak motorola tidak dapat merespon permintaan konsumen dengan cepat karena jarak yang jauh. Biaya *sourcing* mempengaruhi harga pokok penjualan, dimana didalamnya ada biaya yang dibayar ke supplier.

Harga menentukan perilaku dari konsumen produk atau jasa tersebut, sehingga mempengaruhi performa rantai pasok itu sendiri. Sebagai contoh perusahaan transportasi

ISBN 978-602-73461-8-5

yang mengubah tarifnya berdasarkan waktu tunggu konsumen. Jika konsumen menginginkan barangnya dengan cepat, maka konsumen memesan barang tersebut lebih awal dan akan dikenakan tarif yang lebih mahal daripada konsumen yang tidak menginginkan barangnya sampai dengan cepat. Hal ini menjelaskan waktu akan berbanding lurus dengan biaya.Menurut Chopra dan Meindl, 2003), Harga menentukan seberapa besar sebuah perusahaan akan membebankan biaya kepada konsumen akan produk atau jasa yang diberikan dalam sebuah rantai pasok.

Penelitian mengenai optimalisasi biaya infrastruktur sistem transportasi monorel di Yogyakarta telah dilakukan oleh Taufiq (2015), dimana di dalam penelitian ini menyatakan bahwa monorel merupakan salah satu pilihan untuk mengatasi kemacetan dan kepadatan lalu lintas di Yogyakarta. Untuk mengetahui kelayakan pembangunan monorel di Yogyakarta, dilakukan analisis kelayakan investasi. Optimasi biaya dilakukan agar biaya yang dikeluarkan minimal dan pendapatan yang didapat maksimal. Dengan membandingkan beberapa skenario berdasarkan perubahan input jarak antar kolom dengan beban per meter, didapatlah biaya investasi infrastruktur yang paling murah dan waktu pengembalian biaya infrastruktur.

Pemilihan jasa pengiriman secara tidak langsung dapat mempengaruhi total biaya pembelian suatu produk. Dengan memilih jasa pengiriman diharapkan dapat menekan biaya yang akan dikeluarkan oleh pelaku bisnis. Veeera Lakhsmi (2014), telah melakukan penelitian mengenai pemilihan jasa pengiriman bagi pelaku bisnis online di bidang fashion, dimana dalam penelitian ini menyatakan bahwa kegiatan pengiriman barang merupakan satu hal yang perlu diperhatikan oleh pelaku bisnis online untuk menjaga reputasi dan meraih target pasar yang lebih luas. Penelitian ini menggunakan metode AHP untuk menentukan kriteria-kriteria serta bobot jasa pengiriman yang perlu dipertimbangkan oleh pelaku bisnis online di bidang fashion. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa kriteria yang paling penting bagi pelaku bisnis online adalah ketepatan waktu.

Berdasarkan penelitian tersebut dan dengan mempertimbangkan ketiga *drivers* yang telah dijelaskan sebelumnya, maka penelitian ini akan mengoptimalkan biaya produksi dengan pemilihan supplier dan jasa pengiriman yang telah disediakan oleh toko online. Data yang digunakan adalah data sekunder yang didapat dari data online. Toko online yang dipilih adalah tokopedia dan bukalapak karena masuk kedalam lima top brands toko online, selain itu kita bisa memilih jasa pengiriman sedangkan untuk kajian awal akan memakai data dari tokopedia.

2 Metode

Pemrograman linier merupakan proses optimasi dengan menggunakan model keputusan yang diformulasikan secara matematis dan timbul karena adanya keterbatasan dalam mengalokasikan sumber daya. Semua persoalan pemrograman linier mempunyai empat sifat umum (Heizer dan Render, 2005), yaitu sebagai berikut:

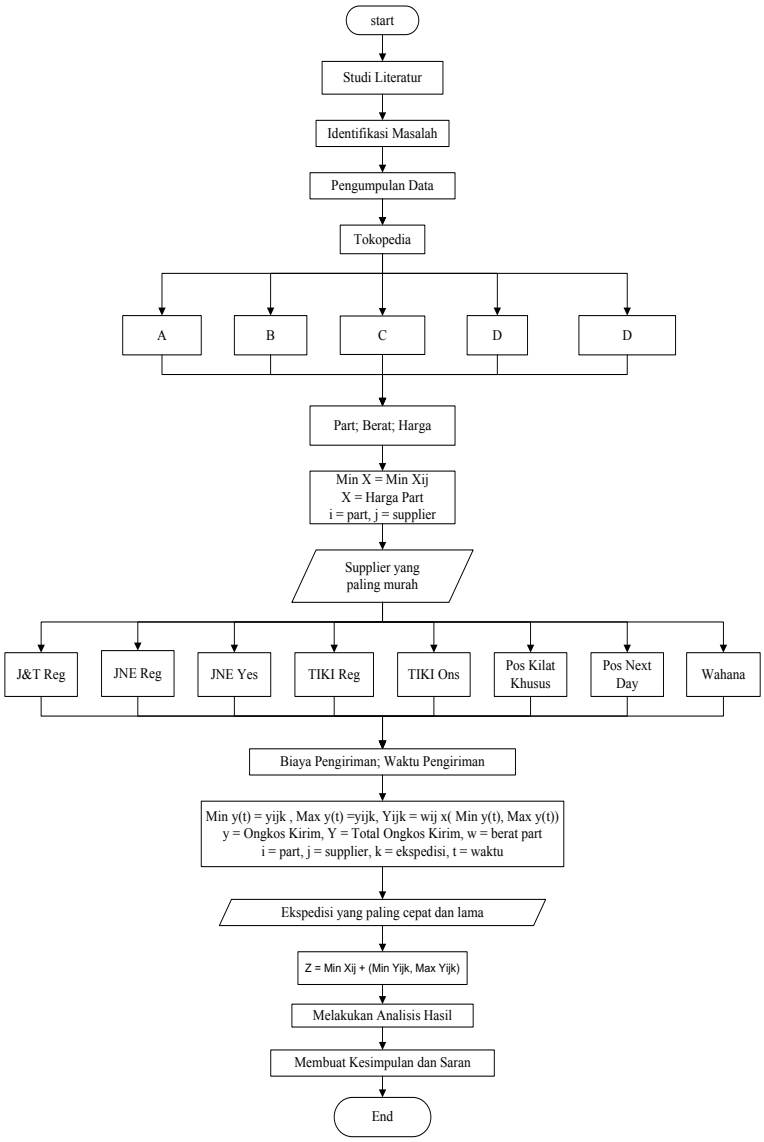
1. Persoalan pemrograman linier bertujuan untuk memaksimalkan atau meminimalkan pada umumnya berupa laba atau biaya sebagai hasil yang optimal. Sifat umum ini disebut sebagai fungsi utama *(objective function)* dari suatu pemrograman linier.
2. Adanya kendala atau batasan *(constraints)* yang membatasi tingkat sampai dimana sasaran dapat dicapai. Oleh karena itu, untuk memaksimalkan atau meminimalkan suatu kuantitas fungsi tujuan bergantung kepada sumber daya yang jumlahnya terbatas.
3. Harus ada alternatif tindakan yang dapat diambil. Hal ini berarti jika tidak ada alternatif yang dapat diambil, maka pemrograman linier tidak diperlukan.
4. Tujuan dan batasan dalam permasalahan pemrograman linier harus dinyatakan dalam hubungan dengan pertidaksamaan atau persamaan linear.

ISBN 978-602-73461-8-5

Langkah-langkah untuk membuat model pemrograman linier (Mulyono, 2007), adalah sebagai berikut:

1. Menentukan variabel-variabel dari persoalan, misalnya x1, x2 dan seterusnya.
2. Menentukan tujuan (maksimasi atau minimasi) yang harus dicapai untuk menentukan pemecahan optimum dari semua nilai yang layak dari variabel tersebut.
3. Menentukan batasan-batasan yang harus dikenakan untuk memenuhi batasan sistem yang dimodelkan.

Kerangka penelitian dapat dilihat pada gambar 1. Langkah pertama yaitu studi literatur dengan mempelajari mengenai optimasi biaya. Setelah mempelajari studi literatur dan pengamatan terhadap bisnis online untuk 3d printer, dilakukan pengambilan data harga part untuk masing-masing supplier dan juga jasa ekspedisinya. Kemudian dilakukan metode optimasi biaya dengan pemilihan supplier dan jasa ekspedisi yang paling murah. Setelah dilakukan optimasi biaya, dilakukan analisis hasil dan kemudian didapatlah kesimpulan dan saran.



Gambar 1. Kerangka penelitian

ISBN 978-602-73461-8-5

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengumpulan Data

Data penelitian diambil dari data online (tokopedia), data tersebut terdiri dari harga part dan juga biaya jasa pengiriman part.

3.2. Data Supplier

Supplier yang dipilih adalah A, B, C, D, E. Data supplier ini terdiri dari dari nama part, berat part, dan harga part. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data supplier

No.	Part	Jumlah	Satuan	Supplier		
1	RAMPS 1.4	1	unit	E	D	A
	Harga			85000	90000	75000
	Berat			100 gram	100 gram	100 gram
2	Stepper HS4410	5	unit	C	E	A
	Harga			190000	135000	160000
	Berat			750 gram	250 gram	300 gram
3	Heater 12v	1	unit	D	A	
	Harga			35000	16000	
	Berat			8 gram	100 gram	
4	Heatbed MK2B	1	unit	B	A	
	Harga			75000	68000	
	Berat			20 gram	100 gram	
5	Thermistor 100K	2	unit	B	C	D
	Harga			15000	9000	10000
	Berat			15 gram	2 gram	10 gram

3.3 Data Jasa Pengiriman

Untuk jasa pengiriman yang tersedia adalah J&T reguler, JNE Reg, JNE Yes, TIKI Reg, TIKI Ons, Pos Kilat Khusus, Pos Next Day, wahana. Data jasa pengiriman terdiri dari biaya pengiriman dan waktu pengiriman. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 2. Data jasa pengiriman

Ekspedisi	Supplier									
	A		B		C		D		E	
	Ongkos kirim	Waktu pengiriman	Ongkos kirim	Waktu pengiriman	Ongkos kirim	Waktu pengiriman	Ongkos kirim	Waktu pengiriman	Ongkos kirim	Waktu pengiriman
	(Rp)	(hari)	(Rp)	(hari)	(Rp)	(hari)	(Rp)	(hari)	(Rp)	(hari)
J&T REG	7000	2	11000	3	21000	3	21000	3	17000	7
JNE REG	9000	2			21000	3			21000	6
JNE YES	13000	1	20000	6			21000	3		
JNE OKE			24000	1	18000	6				
TIKI REG			17000	7	19500	2	18000	6		
TIKI ONS										
Pos kilat khusus	8000	1								
Pos next day	5000	4	14000	1						
Wahana	6000	2	11000	4						
Cepat	8000	1			19500	2			21000	6
Lama	5000	4			18000	6			17000	7

3.4 Pengolahan Data

Model Matematika

Fungsi tujuan model matematis adalah minimasi total biaya produksi,

Minimize Z = $\sum_{i,j,k=1}^{n} Xij + Yijk$.....(1)

Min X = Min Xij.....(2)

Min y(t) = yijk.....(3)

Max y(t) = yijk.....(4)

Constraint:

untuk Supplier A, $1 \leq t \geq 4$.....(5)

Supplier E, $6 \leq t \geq 7$.....(6)

Supplier C, $2 \leq t \geq 6$.....(7)

Yijk = wij x (Min y(t), Max y(t)) .....(8)

Dimana, jika 0 gram < w ≤ 1000 gram, maka w1 =1

1000 gram < w ≤ 2000 gram, maka w2 =2

2000 gram < w ≤ 3000 gram, maka w3 =3

dst

$Z = \{(Min\ X) + (Min\ Y(t), Max\ Y(t)\}$.....(9)

$Z = \sum_{i,j,k=1}^{n} \{(Min\ Xij) + (Min\ Yijk, Max\ Yijk)\}$.....(10)

Keterangan:

X = Harga Part

Y = Total Biaya pengiriman

Z = Total biaya produksi

y = Biaya Pengiriman

w = Berat part

i = Part

j = Supplier

k = Ekspedisi

t = Waktu pengiriman

Dimana, i = 1, 2, …, n

j = 1, 2, …, n

k = 1, 2, ..., n

ISBN 978-602-73461-8-5

Berdasarkan data supplier dapat dilihat perbedaan harga diantara supplier yang ada, kemudian akan dipilih supplier yang paling murah. Pemilihan ini bertujuan untuk meminimalkan biaya yang dikeluarkan oleh pelaku bisnis. Supplier yang terpilih adalah supplier A (part RAMPS 1.4, heater 12v, dan heatbed MK2B), supplier E (part stepper HS4410), supplier C (part thermistor 100K). Hasil dari pemilihan tersebut dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Data supplier yang paling murah

No.	Supplier	PART				
		RAMPS 1.4	Stepper HS4410	Heater 12v	Heatbed MK2B	Thermistor 100K
1	A	75000	160000	16000	68000	
2	B				75000	15000
3	E	85000	135000			
4	C		190000			9000
5	D	90000		35000		10000
Minimal		75000	135000	16000	68000	9000

Setelah didapat supplier yang paling murah untuk masing-masing part, langkah selanjutnya adalah menentukan jasa pengiriman barang yang paling cepat dan paling lama. Hasil dari tahap ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Jasa pengiriman barang yang paling cepat dan paling lama

A	**Cepat**	**Lama**
Ekspedisi	Pos kilat khusus	Pos next day
Ongkos kirim (Rp)	8000	5000
Waktu pengiriman (hari)	1	4
E		
Ekspedisi	JNE REG	J&T REG
Ongkos kirim (Rp)	21000	17000
Waktu pengiriman (hari)	6	7
C		
Ekspedisi	TIKI REG	JNE OKE
Ongkos kirim (Rp)	19500	18000
Waktu pengiriman (hari)	2	6

Berdasarkan data supplier yang paling murah dan jasa pengiriman barang yang paling cepat dan paling lama, dilakukan pengolahan data dengan menjumlahkan semua biaya. Data yang dijumlahkan adalah harga part dan biaya jasa pengiriman part. Hasil dari pengolahan data ini dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil penjumlahan data supplier dan jasa pengiriman

A	Cepat	167000	1	**Selisih**	3000
	Lama	164000	4		3 hari
E	Cepat	696000	6	**Selisih**	4000
	Lama	692000	7		1 hari
C	Cepat	37500	2	**Selisih**	1500
	Lama	36000	6		4 hari

Total biaya yang diperlukan untuk pengiriman part yang cepat adalah sebesar Rp 900.500 dan untuk pengiriman yang lama adalah sebesar Rp 892.000, dimana selisih biaya

ISBN 978-602-73461-8-5

antara pengiriman cepat dan lama sebesar Rp Rp 8500. Waktu yang diperlukan untuk pengiriman cepat adalah sembilan hari dan pengiriman lama tujuh belas hari, sehingga selisih waktu antara pengiriman cepat dan lama adalah delapan hari.

4 Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan biaya produksi part 3d printer secara online. Pengoptimalan biaya dilakukan dengan pemilihan supplier dan jasa pengiriman yang menggunakan pendekatan linear programming. Adanya selisih total biaya produksi part 3d printer diharapakan dapat membantu konsumen untuk mengambil keputusan di dalam memilih supplier dan jasa pengiriman.

Daftar pustaka

Chopra, S., and Meindl, P., 2001, *Supply Chain Management strategy: planning, & operation,* Pearson Education, New Jersey.

Cox, J., Dale, B., 2001, Managing Service Quality: Service Quality and E-Commerce*, An Exploratory Analysis,* Vol.11 pp. 121-131.

Dolgui, A., and Proth, J. M., 2010, Pricing Strategies and Models, *Annual Reviews in control*, Vol. 34 pp. 101-110.

Hager, I., Galonka, A., and Putanowicz, R., 2016, *3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction*, Cracow University of Technology, Poland.

Heizer, J., and Render, B., 2005, *Operations Management*, Salemba Empat, Jakarta.

Hopskin, N., Hague, R.J.M., and Dickens, P.M., 2006, *Rapid Manufacturing An Idustrial Revolution for the Digital Age*, John Wiley and Sons Ltd, Chichester.

Lakhsmi, V., 2014, *Tugas Akhir: Evaluasi Pemilihan Jasa Pengiriman bagi Pelaku Bisnis Online di Bidang Fashion*, Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Mulyono, S., 2007, *Riset Operasi*, Lembaga Penerbit Fakultas Universitas Indonesia, Jakarta.

Perkins, I., and Skitmore, R. M., 2015, Three-Dimensional Printing in the construction Industry: A review. *International Journal of Construction Management*, Vol. 15 pp. 1-9.

Sari dan Diana, P., 2009, *Optimisasi Sistem Industri*, BP UNDIP, Semarang.

Taufiq, 2015, *Tugas Akhir: Optimalisasi Biaya Infrastruktur Sistem Transportasi Monorel di DIY*, Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

ISBN 978-602-73461-8-5

Kajian Awal *Heterogeneous Vehicle Routing Problem* with *Multi Trips* untuk Penentuan Rute Distribusi BBM

Hasyrani Windyatri, Nur Aini Masruroh
Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No.2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281
Telp. 085624803848
E-mail: hwindyatri@yahoo.com

Intisari

Salah satu varian dari Vehicle Routing Problem *adalah* Heterogeneous Vehicle Routing Problem *(HVRP) yang merupakan masalah VRP dimana armada kendaraan memiliki jenis yang berbeda dalam segi kapasitas. Dikarenakan kendaraan memiliki kapasitas yang berbeda – beda dalam melakukan pengiriman produk, penelitian ini akan mempertimbangkan jika kendaraan dapat melakukan lebih dari satu kali perjalanan dalam satu hari kerja (*multi trip*). Salah satu aplikasi dari permasalahan HVRP dengan multi trips adalah pada kasus distribusi BBM di Terminal BBM Rewulu yang mengirimkan BBM ke sejumlah SPBU menggunakan armada yang heterogen. Perusahaan bertugas untuk melakukan pengiriman BBM di wilayah Yogyakarta diminta untuk dapat menjaga kelancaran dan ketepatan waktu dalam pengiriman BBM. Lamanya waktu tempuh dapat berpengaruh kepada keterlambatan pengiriman BBM, oleh karena itu perlu dilakukan penentuan rute yang tepat agar dapat berjalan secara efektif dan efisien. Penelitian ini, membangun sebuah model matematika Mixed Integer Linier Programming (MILP) dengan mempertimbangkan multi trips dan multi product untuk meminimalkan waktu tempuh perjalanan dengan menggunakan metode branch and bound. Dari hasil yang didapat, model yang dibangun telah terverifikasi..*

Kata kunci: Heterogeneous Vehicle Routing Problem, MILP, Multi Trips, Branch and Bound

1. Pendahuluan

Vehicle routing problem (VRP) merupakan salah satu permasalahan dalam transportasi dan pengembangan masalah dari *Travelling Salesman Problem* (TSP). *Vehicle routing problem* adalah permasalahan penentuan rute kunjungan kendaraan yang optimal dari satu atau beberapa depot ke sejumlah konsumen atau kota yang tersebar di dalam wilayah tertentu untuk memenuhi sejumlah batasan operasional (Laporte, 1992). *Vehicle Routing Problem* dikenalkan pertama kali pada tahun 1959 oleh Dantzig dan Ramzer. Tujuan VRP secara umum adalah untuk meminimalkan ongkos perjalanan secara keseluruhan dan meminimalkan jarak tempuh, meminimalkan jumlah kendaraan yang digunakan untuk melayani konsumen, menyeimbangkan rute perjalanan, dan meminimalkan ketidakpuasan konsumen, contohnya dalam hal keterlambatan pengiriman (Toth dan Vigo, 2002).

Vehicle routing problem memiliki banyak variasi, diantaranya *Capacitated Vehicle Routing Problem, Multiple Depot Vehicle Routing Problem, Heterogeneous or Mixed Fleet Routing Problem*. Banyak penelitian telah dilakukan mengenai permasalahan tentang *vehicle routing problem*, *Capacitated Vehicle Routing Problem* adalah variasi VRP yang paling banyak dipelajari (Toth dan Vigo, 2014), dimana armada kendaraan yang ada memiki kapasitas yang homogen dan terbatas, tapi pada dasarnya dalam kasus nyata

ISBN 978-602-73461-8-5

kebanyakan perusahaan menggunakan armada yang memiliki kapasitas yang berbeda – beda (Setiawan, 2016). Kasus ini lebih dikenal dengan *Heterogeneous Routing Problem*. *Heterogeneous Routing Problem* (HVRP) merupakan masalah dalam VRP dimana armada yang tersedia untuk aktivitas distribusi terdiri dari berbagai tipe kendaraan yang berbeda, yang masing – masing kendaraan memiliki kapasitas dan biaya tertentu (Toth dan Vigo, 2014). HVRP mempunyai karakteristik yang lebih mudah dilakukan, sehingga banyak dilakukan pengembangan masalah dari HVRP itu sendiri. Menurut Koc, et al. (2015) bahwa pengembangan dari HVRP antara lain *time windows, multiple depot, stochastic demand, pickup dan deliveries, multi trip, backhauls, green routing*, dan lain sebagainya.

Penelitian ini mengambil kasus distribusi BBM yang dilakukan oleh Terminal BBM Rewulu. Dalam kegiatan distribusinya, TBBM Rewulu merupakan titik awal dan titik akhir pendistribusian BBM, dan merupakan tempat instalasi BBM yang menyimpan dan menampung pasokan BBM yang akan disalurkan ke SPBU. Terminal BBM Rewulu selaku depot melakukan pengiriman berbagai macam produk bahan bakar minyak (*multi product*) ke sejumlah SPBU yang tersebar di wilayah Yogyakarta, Purworejo, Magelang, dan Temanggung BBM dikirimkan dari TBBM Rewulu ke sejumlah SPBU menggunakan truk tanki yang dimiliki perusahaan sebanyak 68 buah dan terdiri dari 3 volume kapasitas yang berbeda, yaitu truk tanki volume 16 KL, 24 KL, dan 32 KL. Pendistribusian produk dari perusahaan dapat dikirim secara tepat waktu dan dalam jumlah yang tepat kepada konsumen, agar tidak terjadi keterlambatan dalam pengiriman BBM. Jika terjadi keterlambatan, maka akan berpengaruh kepada masyarakat selaku konsumen akhir dan dapat menyebabkan antrian panjang di sejumlah BBM. Keterlambatan ini dapat disebabkan oleh lamanya waktu tempuh kendaraan dalam melakukan pengiriman. Agar dapat menjaga kelancaran pengiriman BBM dan mengurangi lamanya waktu tempuh perlu dilakukan pemilihan rute yang tepat. Menurut Novianda, et al. (2017) pengiriman bisa dilaksanakan dengan cepat dan tepat dengan pemilihan rute yang tepat jika dilaksanakan sesuai dengan kebutuhan.

Selain itu, karena armada kendaraan memiliki kapasitas tanki yang berbeda dan terbatas dalam melakukan pengiriman BBM, sehingga pada penelitian ini akan mempertimbangkan bagaimana jika beberapa kendaraan dapat melakukan lebih dari satu kali perjalanan dalam di hari kerja (*multi trip*). Kondisi ini disebut dengan *multi trip* VRP (Gendreau, et al., 2007). Kendaraan yang sudah kembali ke depot dan masih berada dalam waktu jam kerja dapat melakukan pengiriman kembali ke SPBU. Kebijakan *multi trip* VRP merupakan cara yang efisien untuk mengurangi total jumlah kendaraan, sehingga biaya tetap (*fixed cost*) juga bisa dikurangi (Huang dan Lee, 2011).

Berdasarkan penjelasan diatas, maka penelitian ini akan membangun model matematika *Heterogeneous Vehicle Routing Problem* dengan mempertimbangkan *multi product* dan *multi trips* pada distribusi BBM, dan penyelesaian penelitian ini akan menggunakan adalah dengan metode eksak *branch and bound* yang diharapkan mampu memberikan solusi yang optimal.

2. Metode

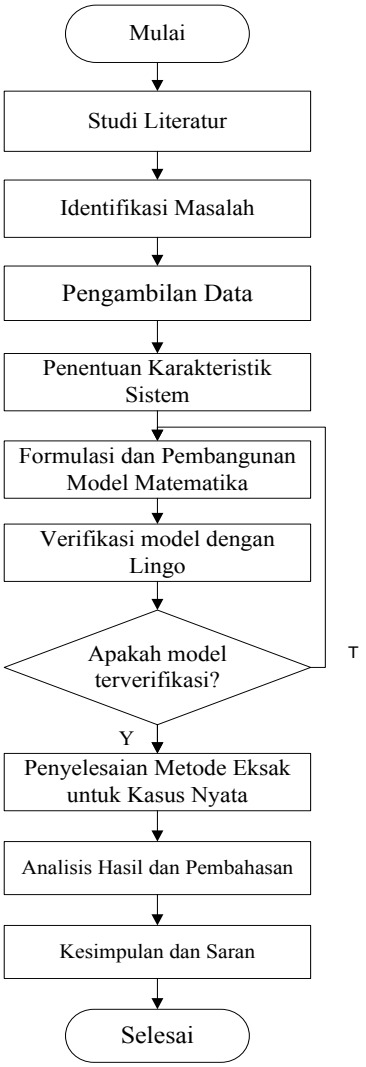
2.1. Objek penelitian

Model dibangun dengan mengambil kasus distribusi BBM di Terminal BBM Rewulu yang berlokasi di jalan Wates km.10, Argomulyo, Sedayu, Bantul, Yogyakarta. TBBM Rewulu melakukan pengiriman bahan bakar minyak ke SPBU yang tersebar diwilayah Yogyakarta, kabupaten dan kota Magelang, serta kabupaten Temanggung. Adapun dalam kajian awal penelitian ini akan digunakan data dari 6 konsumen/SPBU dan dengan 2 jenis produk yang akan diteliti untuk dilakukan penentuan rute optimasinya.

ISBN 978-602-73461-8-5

2.2. Tahapan penelitian

Pada penelitian ini akan dibangun model matematika untuk kasus *heterogeneous vehicle routing problem* dengan mempertimbangkan *multi trips*. Model yang dibangun merupakan *mixed integer linear programming* (MILP) dengan menggunakan *solver* LINGO dengan metode *branch and bound.* Adapun tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur dengan mengkaji dan mempelajari lebih dalam permasalahan mengenai *vehicle routing problem with multi trips*. Setelah itu melakukan identifikasi masalah yang ada pada distribusi BBM dan melakukan pengumpulan data yang dibutuhkan. Setelah identifikasi masalah kemudian akan dijabarkan karakteristik sistem dan pembangunan formulasi model matematika berdasarkan karakteristik sistem tersebut. Kasus sederhana akan digunakan untuk melakukan pengujian pada model matematika yang kemudian akan dilihat output dari hasil solver tersebut untuk diverifikasi. Verifikasi dilakukan dengan melihat apakah model yang dibangun tidak ada yang melanggar batasan model tersebut. Jika model sudah terverifikasi lalu akan dibangun model berdasarkan kasus nyata yang ada menggunakan solver LINGO. Setelah hasil didapat akan dilakukan analisis, dan ditarik kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya. Adapun *flowchart* untuk penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* penelitian

ISBN 978-602-73461-8-5

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik sistem

Penelitian ini akan mempelajari sistem kasus distribusi *heterogeneous vehicle routing problem* dengan *single depot*, *multi product* dan *multi trip* (HVRPMPMT) pada distribusi BBM di Terminal BBM Rewulu. Terminal BBM Rewulu selaku depot melakukan pengiriman berbagai macam bahan bakar minyak (*multi product*) ke sejumlah SPBU yang tersebar di wilayah Yogyakarta, Purworejo, Magelang, dan Temanggung. Distribusi produk dimulai dari TBBM Rewulu yang merupakan titik awal dan titik akhir pendistribusian Produk yang akan dibahas dalam penelitian ini merupakan produk yang banyak dikonsumsi untuk kendaraan bermotor, yaitu Pertalite dan Pertamax. Distribusi BBM dalam satu hari kerja menggunakan truk tanki yang memiliki 3 jenis kapasitas yang berbeda, yaitu truk tanki volume 16kL, 24 kL, dan 32 kL yang masing – masing dibagi dalam kompartemen yang sama yaitu 8 kL. Demand konsumen tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan, dan kendaraan diijinkan untuk melakukan lebih dari satu rute perjalanan jika masih berada dalam jam kerja. Semua konsumen hanya dikunjungi sekali, dan semua konsumen harus terlayani. Tujuan dari sistem adalah untuk meminimalkan total waktu perjalanan.

Model matematis yang akan dibangun dalam penelitian ini merupakan model general untuk menentukan rute pengiriman BBM ke SPBU dengan memperhatikan mempertimbangkan kondisi jika kendaraan dapat melakukan lebih dari satu trip atau *multi trips* dalam rentang jam kerja yang ada. Model yang akan dibuat merupakan periode distribusi harian (*single period*).

3.2. Model matematika

Di dalam teori graph, VRP didefinisikan sebagai Grafik G (N,A) dimana N = (0,1,2,3,..., N) sebagai kumpulan node. TBBM Rewulu digambarkan dengan node 1, dan kumpulan dari pelanggan dinotasikan No= N\{0}. A merupakan himpunan busur dengan A = {(i,j)| i,j ϵ N dan i ≠ j}. *Demand* dari setiap konsumen dinyatakan dengan Di, Ai merupakan akumulasi jumlah produk yang diminta oleh konsumen. Waktu perjalanan dari konsumen i ke j dinyatakan dengan Cij. Kumpulan kendaraan heterogen dinyatakan dengan indeks k = (1,2,..,K), sedangkan Qk merupakan kapasitas dari kendaraan K. Variabel keputusan untuk kasus ini adalah Xijkr bernilai 1 jika dari konsumen i ke j menggunakan kendaraan K pada rute R, bernilai 0 jika sebaliknya. Yikr bernilai 1 jika konsumen i dikunjungi oleh kendaraan K pada rute R, bernilai 0 jika sebaliknya. Adapun model matematika untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

Fungsi tujuan dari model matematis ini adalah untuk meminimalkan total waktu perjalanan:

Minimize Z:

$$\sum_i^N \sum_j^N \sum_k^K \sum_r^R C_{ij}.X_{ijkr} \quad \text{.....(1)}$$

Fungsi Kendala:

$$\sum_k^K \sum_r^R Y_{ikr} = 1 \qquad \forall i \in N\backslash\{0\} \quad \text{.....(2)}$$

$$\sum_{\substack{j \\ i \neq j}}^N X_{ijkr} = Y_{ikr} \qquad \forall i \in N; k = 1,2 \dots, K; r = 1,2, \dots, R \quad \text{.....(3)}$$

ISBN 978-602-73461-8-5

$$\sum_{\substack{j \\ i \neq j}}^{N} X_{jikr} = Y_{ikr} \qquad \forall i \in N; k = 1,2 \dots, K; r = 1,2, \dots, R \quad (4)$$

$$\sum_{p=1}^{P} A_{ip} = D_i \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{N} X_{1jkr} \geq \sum_{j=1}^{n} X_{1jkr+1} \qquad \forall k = 1,2 \dots, K; r = 1,2, \dots, R+1 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{N} D_i Y_{ikr} \leq Q_k \qquad \forall k = 1,2 \dots, K; r = 1,2, \dots, R \quad (7)$$

$$D_i \leq U_{ikr} \leq Q_k \qquad \forall i \in N\{0\}; k = 1,2 \dots, K; r = 1,2, \dots, R \quad (8)$$

$$U_{ikr} - U_{jkr} + Q_k X_{ijkr} \leq Q_k - D_j \quad \forall i, j \in N\{0\}; i \neq j, k = 1,2,., K; r = 1,2,., R \quad (9)$$

$$X_{ijkr} \in \{0,1\} \qquad \forall i, j \in N; k = 1,2 \dots, K, r = 1,2 \dots, R \quad (10)$$

$$Y_{ikr} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in N; k = 1,2, \dots, K, r = 1,2, \dots, R \quad (11)$$

Fungsi tujuan (1) adalah untuk meminimalkan total waktu perjalanan. Persamaan (2) untuk memastikan setiap konsumen hanya dikunjungi sekali persamaan (3) dan (4) untuk menunjukkan bahwa kendaraan dan rute yang sama masuk dan keluar pada konsumen yang sama. Persamaan (5) memastikan demand konsumen merupakan akumulasi jumlah produk yang diminta. Persamaan (6) untuk menunjukkan rute kendaraan dimulai dari R menuju R+1. Persamaan (7) Batasan ini untuk memastikan jumlah yang dibawa oleh kendaraan tidak melebihi kapasitas yang tersedia untuk setiap rute. Persamaan (8) dan (9) memastikan tidak ada sub-tour. Persamaan (10) dan (11) menunjukkan bahwa variabel keputusan bernilai integer.

3.3. Verifikasi Model

Model yang telah dibangun kemudian dilakukan verifikasi dengan menggunakan kasus yang lebih sederhana melalui solver LINGO dengan menggunakan metode eksak *branch and bound.* Verifikasi model ini digunakan untuk membuktikan apakah ada batasan – batasan yang terlanggar pada model matematika diatas. Permasalahan untuk kasus sederhana berikut ini sebanyak 1 TBBM dan 6 konsumen. Kendaraan yang digunakan sebanyak 3 buah tanki dengan kapasitas yaitu tanki 16 kL, tanki 24 kL dan tanki 32 kL. Adapun tabel jumlah permintaan produk dan matriks waktu antar konsumen dapat dilihat pada sebagai berikut:

Tabel 1. Permintaan konsumen

Produk	**Permintaan Konsumen (kL)**					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1	0	8	8	8	8	8
2	0	8	8	8	8	8

Pada tabel 1 produk yang akan dikirimkan dari terminal BBM ke SPBU ada 2 jenis yaitu pertamax dan pertalite yang banyak diminati oleh masyarakat pada umumnya.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 2. Matriks waktu antar konsumen (menit)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1	0	85	66	87	73	80
2	89	0	145	149	138	147
3	64	135	0	25	8	16
4	87	141	25	0	15	28
5	73	130	8	15	0	12
6	80	145	16	28	12	0

Pada tabel 2 merupakan waktu tempuh dari konsumen i ke konsumen j dalam satuan menit. Berdasarkan data diatas lalu dilakukan uji model matematis pada solver LINGO menggunakan metode eksak branch and bound, sehingga didapatkan solusi optimal berupa *best objective value* adalah 509 menit dan rute perjalanan sebagai berikut:

Kendaraan 2 rute 1 yaitu melayani konsumen 1 – 2 – 1
Kendaraan 3 rute 1 yaitu melayani konsumen 1 – 6 – 3 – 1
Kendaraan 3 rute 2 yaitu melayani konsumen 1 – 5 – 4 – 1

Setelah mengetahui hasil dari solver LINGO, maka pada tabel 3 akan ditunjukkan verifikasi dari output yang didapat untuk mengetahui apakah ada batasan – batasan yang terlanggar dalam model matematis.

Tabel 3. Verifikasi output solver LINGO

Kendaraan	**Beban**	**Kapasitas Kendaraan**	**Waktu Tempuh**
Kendaraan 2 rute 1	24 kL	16 kL	174
Kendaraan 3 rute 1	32 kL	32 kL	160
Kendaraan 3 rute 2	32 kL	32 kL	175
		Total Waktu	**509 menit**

Berdasarkan tabel 3 dapat dilihat bahwa output hasil optimasi memenuhi batasan yang ditentukan pada model, diantaranya kendaraan dapat melakukan lebih dari 1 kali trip dalam satu hari kerja, tidak melanggar batasan kapasitas kendaraan yang ada, dan semua konsumen terlayani. Dari hasil optimasi diatas, maka model yang dibangun telah terverifikasi

4. Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini dilakukan dengan membangun model matematika MILP *heterogeneous vehicle routing problem with multi product* dan *multi trips* (HVRPMPMT) untuk kasus distribusi BBM menggunakan metode eksak *branch and bound* dengan tujuan untuk meminimalkan waktu tempuh perjalanan kendaraan. Dari hasil yang didapat menunjukkan bahwa tidak ada batasan yang terlanggar, kendaraan dapat melakukan *multi trips*, dan semua konsumen terlayani. Model matematika yang dibangun masih bersifat general, sehingga dapat digunakan untuk menyelesaikan kasus yang sejenis. Kajian selanjutnya akan dilakukan penambahan seluruh konsumen yang ada.

Untuk penelitian selanjutnya, dapat dibuat model dengan mempertimbangkan time windows, dan penambahan jenis produk agar lebih merepresentasikan model yang lebih nyata.

ISBN 978-602-73461-8-5

Daftar Pustaka

Gendreau, M., Potvin, J.Y., Braysy, O., Hasle, G. and Lokketangen, A., 2007 , Metaheuristic for the Vehicle Routing Problem and its Extension: A Categorized Bibliography, CIRRELT

Haroun, S.A., Jamal, B., dan Hicham, E.H., 2015, A Performance Comparison of GA and ACO Applied to TSP, *International Journal of Computer Applications*, Vol.117, No.19

Huang, C., and Lee, C.M., 2011, A Study of Multi-Trip Vehicle Routing Problem and Distribution Centre Location Problem, *POMS 22nd Annual Conference*, Nevada, USA

Koç, C., Bektas, T., Jabali, O., and Laporte, G., 2015, Thirty Years of Heterogeneous Vehicle Routing, European Journal of Operational Research, 2015, pp. 1-21

Laporte, G., 1992, The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms, *European Journal of Operations Research*, Vol. 59 pp. 345-358.

Mingozzi, A., Roberti, R., and Toth, P., 2013, An Exact Algorithm for the Multitrip Vehicle Routing Problem*, INFORMS Journal on Computing*, Vol.25 No.2 pp. 193-207.

Purwanto, A., 2014, *Tugas Akhir: Optimasi Rute Distribusi Petrol Station Replenishment Problem Menggunakan Ant Colony Optimization (Studi Kasus di TBBM Rewulu)*, Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Risdiyanta, 2014, Membedah Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) di Indonesia, *Jurnal Forum Teknologi Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi*, Vol.4 No.3.

Sarwadi, dan Anjas, SWK., 2004, Algoritma Genetika untuk Penyelesaian Masalah Vehicle Routing, *Jurnal Matematika dan Komputer*, Vol.7 No.2.

Setiawan, F., 2016, *Tugas Akhir: Mathematical Modelling Of Heterogeneous Vehicle Routing Problem With Multi-Trips And Multi-Products*, Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Sexias, M.P. and Mendes, A.B., 2013, Column Generation for a Multitrip Vehicle Routing Problem with Time Windows, Drivers Work Hours and Heterogenous Fleet, *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2013 pp. 113.

Shahab, M.L., dan Irawan, M.I., 2015, Algoritma Genetika Ganda untuk Capacitated Vehicle Routing Problem, *Jurnal Sains dan Seni ITS*, Vol.4 No.2.

Susanto, E.R., 2011, *Tugas Akhir: Penentuan Sistem Distribusi Pelumas Pertamina dari Depot ke Agen Pelumas Menggunakan Metode Algoritma Tabu Search*, Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.

Taha, H.A., 2007, *Operation Research: An Introduction*, 8th ed., Pearson Prentice Hall, New Jersey.

Toth, P., and Vigo, D., 2014, Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications, *Mathematical Optimization Society and Society for Industrial and Applied Mathematics (MOS-SIAM) series in optimization*, Philadelphia.

Wibowo, R.P., 2011, *Tugas Akhir: Optimasi Pengiriman BBM Ke SPBU Pada Kasus Multi Depot dan Multi Product di Sales Area Bandung*, Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.

Winston, W.L., 2004, *Operation Research Applications and Algorithms*, 2nd ed., Brooks/Cole–Thomson Learning, Canada.

ISBN 978-602-73461-8-5

Perancangan Ulang Tata Letak Gudang Logistik Bencana Menggunakan *Dedicated Storage* dan Pendekatan Simulasi

Khadijatuzzahro Al Arifiyyah Aritonang, Prima Denny Sentia, Andriansyah
Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl.Tengku Syekh Abdurauf No.7, Darussalam, Banda Aceh, Aceh 23111
Telp. +62651755129
E-mail: khadijatuzzahroart@gmail.com

Intisari

Badan Penanggulangan Bencana Aceh merupakan badan pemerintah tingkat provinsi yang secara khusus dibentuk untuk mengatasi penanggulangan bencana baik pra bencana, saat bencana maupun paska bencana. Sebagai badan pemerintahan, saat ini gudang logistik bencana memiliki tata letak yang tidak sesuai. Peletakkan logistik yang ditempatkan secara acak serta penempatan mobil dan peralatan logistik yang masih belum sesuai dengan pedoman pergudangan Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Oleh sebab itu perlu dilakukan perancangan ulang tata letak gudang dengan tujuan meminimumkan nilai total momen perpindahan serta waktu simulasi pada saat proses pemindahan logistik dari area penyimpanan logistik menuju mobil logistik. Perancangan tata letak gudang logistik bencana dilakukan dengan menggunakan metode dedicated storage dan pendekatan simulasi. Dedicated storage menghasilkan perangkingan nilai throughput yang akan digunakan sebagai acuan dalam meletakkan logistik pada tata letak usulan. Hasil perbandingan yang dilakukan antara nilai total momen perpindahan tata letak awal dan tata letak usulan menunjukkan bahwa tata letak usulan dapat meningkatkan nilai total momen perpindahan lebih baik sebesar 12,5% per tahun dibandingkan tata letak awal. Selanjutnya, tata letak awal dan tata letak usulan disimulasikan menggunakan software ProModel student version 2016 untuk melihat perbandingan waktu simulasinya dan menghasilkan selisih 23 menit lebih cepat tata letak usulan dibandingkan tata letak awal.

Kata kunci: Tata Letak, Gudang Logistik, Dedicated Storage, Simulasi

1. Pendahuluan

Dampak dari setiap bencana itu berbeda-beda bukan saja berkaitan dengan jenis fenomena alam atau buatan manusia, tetapi juga berpengaruh terhadap sektor kesehatan, ekonomi maupun kondisi sosial daerah (Lukman, 2007). Penanganan penanggulangan bencana, baik pada prabencana, saat bencana maupun paska bencana membutuhkan suatu koordinasi yang harus terintegrasi mengingat sensitivitas waktu dan rentannya korban bencana. Bantuan logistik bagi para korban bencana merupakan hal yang sangat penting untuk menjaga keberlangsungan hidup para korban di pengungsian (Hidayat dkk, 2017).

Berdasarkan Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana yang selanjutnya disingkat BNPB No. 13 Tahun 2008 tentang Pedoman Manajemen Logistik dan Peralatan dibuat dalam rangka penanggulangan bencana agar pengelolaan logistik dan peralatan dapat dilaksanakan dengan cepat, tepat, terpadu dan akuntabel. Gudang merupakan salah satu hal yang penting untuk menyimpan logistik dan peralatan saat terjadi bencana. Pengelolaan logistik kebencanaan yang baik sudah semesti nya dilakukan dalam rangka penanggulangan bencana. Gudang logistik kebencanaan didirikan oleh pemerintah, badan-badan pertolongan bencana maupun oleh masyarakat sipil sebagai tempat

ISBN 978-602-73461-8-5

penerimaan sumbangan logistik korban bencana. Gudang ini juga dapat berfungsi sebagai tempat atau titik antar-kiriman serta sebagai tempat menyiapkan dan memaketkan kiriman logistik dan sebagai gudang utama. Tujuan dari gudang logistik kemanusiaan selain sebagai tempat penerimaan adalah untuk melindungi persediaan darurat dengan cara yang lebih sistematis serta terkelola sampai logistik tersebut dapat diantar ke penerima akhir yaitu para korban bencana.

Terdapat beberapa penelitian terdahulu mengenai perancangan ulang tata letak menggunakan metode *dedicated storage* diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Atan dkk, 2013; Efrataditama dan Wigati, 2016; Fumi dkk, 2013; Lee dan Elsayed, 2005. Beberapa penelitian tersebut membuktikan bahwa metode *dedicated storage* bertujuan untuk meminimasi jarak *material handling* dengan membandingkan *layout* awal dan *layout* usulan serta meminimalkan seluruh biaya termasuk biaya penyimpanan dan penyewaan gudang.

Model simulasi merupakan suatu pendekatan yang cukup fleksibel untuk memecahkan suatu masalah yang sulit untuk dipecahkan oleh model matematis biasa. Sebuah sistem yang kompleks untuk dipecahkan analisis dari suatu model dapat dilakukan dengan model simulasi untuk hasil yang efektif (Siska dan Sabri, 2016). ProModel merupakan sebuah *software* yang digunakan untuk mensimulasikan dan menganalisis sebuah sistem serta untuk memodelkan berbagai macam sistem manufaktur dan jasa (Puteri dan Sudarwati, 2016). Beberapa penelitian terdahulu yang berhubungan dengan simulasi menggunakan *software* ProModel adalah penelitian yang dilakukan oleh Atan dan Ahmad, 2013; Chang, 2015; Puteri dan Sudarwati, 2016; Akpinar dkk., 2017. Penggunaan ProModel berdasarkan penelitian terdahulu menyatakan bahwa peneliti dapat mencoba berbagai macam kemungkinan kombinasi yang dapat dilakukan untuk mencapai hasil dalam mengoptimasi waktu maupun biaya.

2. Metode

Tahap persiapan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi studi literatur dan studi lapangan secara langsung di gudang logistik bencana. Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan data primer seperti *layout* awal, frekuensi perpindahan, waktu perpindahan dan jumlah logistik yang diangkat serta menggunakan data sekunder yang meliputi data item logistik dan peralatan, jumlah logistik dan peralatan jumlah tumpukan, jumlah logistik yang diangkat serta data rekapitulasi rata-rata distribusi logistik.

Perancangan ulang tata letak gudang logistik bencana menggunakan metode *dedicated storage* hanya dilakukan pada area penyimpangan logistik saja sedangkan untuk peletakan peralatan lainnya seperti mobil, palet dan genset diletakkan berdasarkan pedoman pergudangan Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Selanjutnya, model simulasi dibentuk dengan tujuan untuk menunjukkan proses pemindahan logistik dari area penyimpanan logistik menuju mobil logistik. Asumsi yang digunakan dalam proses simulasi bahwa simulasi hanya dilakukan pada jenis logistik saja dimana logistik yang disimulasikan merupakan jenis logistik yang paling sering keluar dari gudang. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* ProModel *student version* 2016.

Tahap perancangan ulang dilakukan setelah seluruh data primer dan data sekunder terkumpul. Adapun tahap perancangan ulang pada penelitian ini sebagai berikut:

1. *Layout* Awal

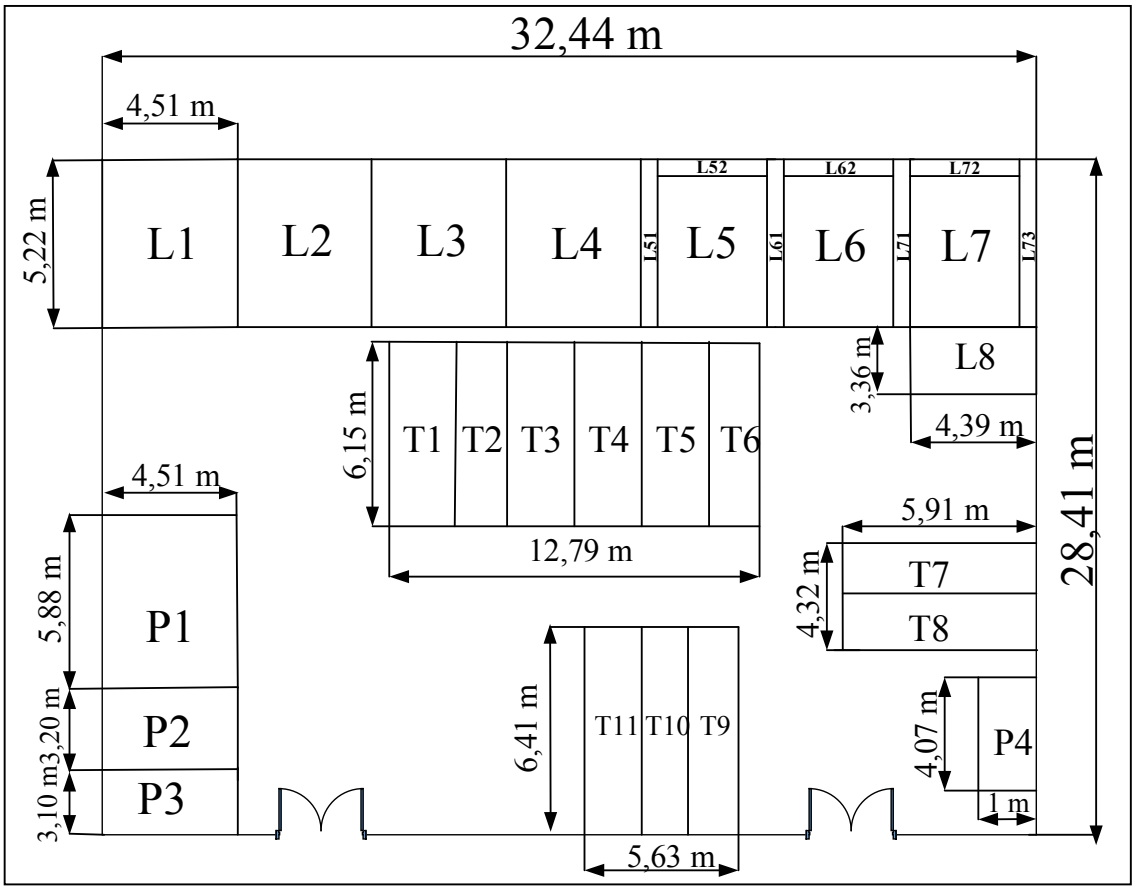
Berikut merupakan gambar *layout* awal dari gudang logistik bencana,

Keterangan:

L1	: Paket Peralatan Dapur Keluarga	L71	: Kelambu
L2	: Masker	L72	: Makanan Tambahan Gizi
L3	: Paket Perlengkapan Makan	L73	: Paket *Family Kids*

ISBN 978-602-73461-8-5

L4	: Paket Makanan Lauk Pauk	P1	: Generator Air bersih, *Radiator Water Level*
L5	: Matras	P2	: Generator Air Bersih
L51	: Kantong Mayat	P3	: Genset
L52	: Tikar, Selimut	T1	: Mobil Pengeruk Tanah
L61	: Paket *Kids Ware* dan Rekreasional	T2	: Ambulan
L62	: Sandang	T3	: Mobil Logistik
L7	: Paket Kesehatan Keluarga	T8	: Mobil Tanki Air
T4	: Mobil Dapur Umum Lapangan	T9	: Forklift Besar
T5	: Truk	T10	: Forklift Kecil
T6	: Mobil Pemancar Sinyal	T11	: Mobil Air Bersih
L8	: Tenda Gulung	P4	: Tumpukan Palet
T7	: Mobil Toilet Umum		



Gambar 1. *Layout* awal

2. Nilai Koordinat *Layout* Awal

Nilai koordinat sumbu x dan sumbu y dilakukan dengan tujuan sebagai *input* untuk melakukan perhitungan jarak antar area.

Tabel 1. Koordinat *Layout* awal

Area	**X**	**Y**
L1	2,25	27,01
L2	6,77	27,01
L3	11,3	27,01

ISBN 978-602-73461-8-5

Area	X	Y
L4	15,78	27,01
L5	20,29	27,01
L6	24,9	27,01
L7	29,31	27,01
L8	28,31	24,97
Mobil Logistik	15,5	13,69

3. Matriks Jarak Antar Area *Layout* Awal

Data yang digunakan dalam perhitungan ini adalah nilai koordinat sumbu x dan sumbu y pada *layout* awal.

Tabel 2. Matriks jarak antar area *layout* awal (meter)

i/j	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	Mobil Logistik
L1	0	4,52	9,05	13,53	18,04	22,65	27,06	28,1	26,57
L2	4,52	0	4,53	9,01	13,52	18,13	22,54	23,58	22,05
L3	9,05	4,53	0	4,48	8,99	13,6	18,01	19,05	17,52
L4	13,53	9,01	4,48	0	4,51	9,12	13,53	14,57	13,6
L5	18,04	13,52	8,99	4,51	0	4,61	9,02	10,06	18,11
L6	22,65	18,13	13,6	9,12	4,61	0	4,41	5,45	22,72
L7	27,06	22,54	18,01	13,53	9,02	4,41	0	3,04	27,13
L8	28,1	23,58	19,05	14,57	10,06	5,45	3,04	0	24,09
Mobil Logistik	26,57	22,05	17,52	13,6	18,11	22,72	27,13	24,09	0

4. Total Momen Perpindahan *Layout* Awal

Perhitungan total momen perpindahan membutuhkan data frekuensi perpindahan selama satu tahun dikali dengan data jarak antar area. Hasil dari total momen perpindahan/tahun pada layout awal adalah 34.917 meter.

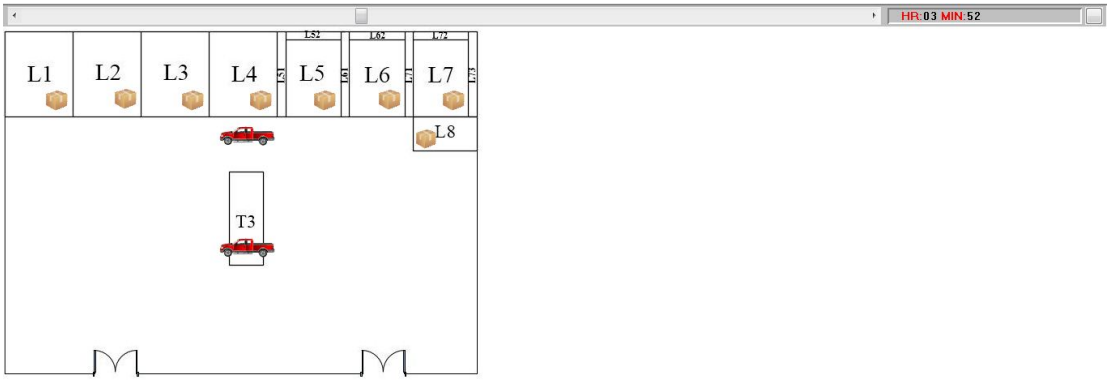
3. Hasil dan Pembahasan

Tahap hasil dan pembahasan menunjukkan hasil simulasi awal, perhitungan *throughput*, perangkingan *throughput*, peletakkan logistik pada area sesuai perankingan *thorughput* dan simulasi usulan setelah dilakukan perancangan *layout* usulan serta analisis perbandingan dari *layout* awal dan *layout* usulan.

1. Simulasi Layout Awal

Simulasi *layout* awal dilakukan pada tata letak awal gudang logistik bencana. Pada Gambar 2 terlihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk melakukan simulais pada *layout* awal sebanyak 3 jam 52 menit.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 2. Hasil simulasi *layout* awal

2. Nilai *Throughput*

Perhitungan *throughput* dilakukan dengan tujuan sebagai acuan dalam peletakan barang pada area yang tersedia dalam gudang. Data yang dibutuhkan pada perhitungan ini adalah data rata-rata penerimaan dan pengeluaran logistik dibagi dengan jumlah logistik yang dapat diangkat. Setelah dilakukan perhitungan *throughput* maka nilai *throughput* akan dirangking mulai dari nilai tertinggi hingga nilai terendah. Logistik dengan nilai *throughput* tertinggi akan diletkkan pada area dengan jarak terdekat ke mobil logistik.

Tabel 3. Nilai *throughput*

No.	Nama Barang	Tj	Perangkingan	Peletakkan
1	Kantong Mayat	2	17	L51
2	Paket Kesehatan Keluarga	22	6	L7
3	Karung	11	11	L6
4	Paket Seragam Sekolah Dasar Laki-Laki	0	18	-
5	Paket Seragam Sekolah Dasar Perempuan	0	19	-
6	Paket Seragam PDH Untuk BPBD	0	20	-
7	Paket Seragam Pramuka SD Laki-Laki	0	21	-
8	Paket Seragam Pramuka SD Perempuan	0	22	-
9	Paket Perlengkapan Sekolah Dasar	0	23	-
10	Matras	4	14	L5
11	Kelambu	2	16	L71
12	Tikar	5	13	L52
13	Masker	4	15	L1
14	Peralatan Dapur	19	9	L1
15	Sandang	22	7	L62
16	*Kids Ware*	42	2	L61
17	*Family Kids*	54	1	L73
18	Selimut	10	12	L53
19	Tenda Gulung	15	10	L8
20	*Family Kit*	0	24	-
21	Lauk Pauk	32	4	L4
22	Makanan Siap Saji	0	25	-
23	Makanan Tambahan Gizi	21	8	L72
24	Heli *Box*	0	26	-
25	Perlengkapan Makan	37	3	L3
26	Paket Rekresional	31	5	L61

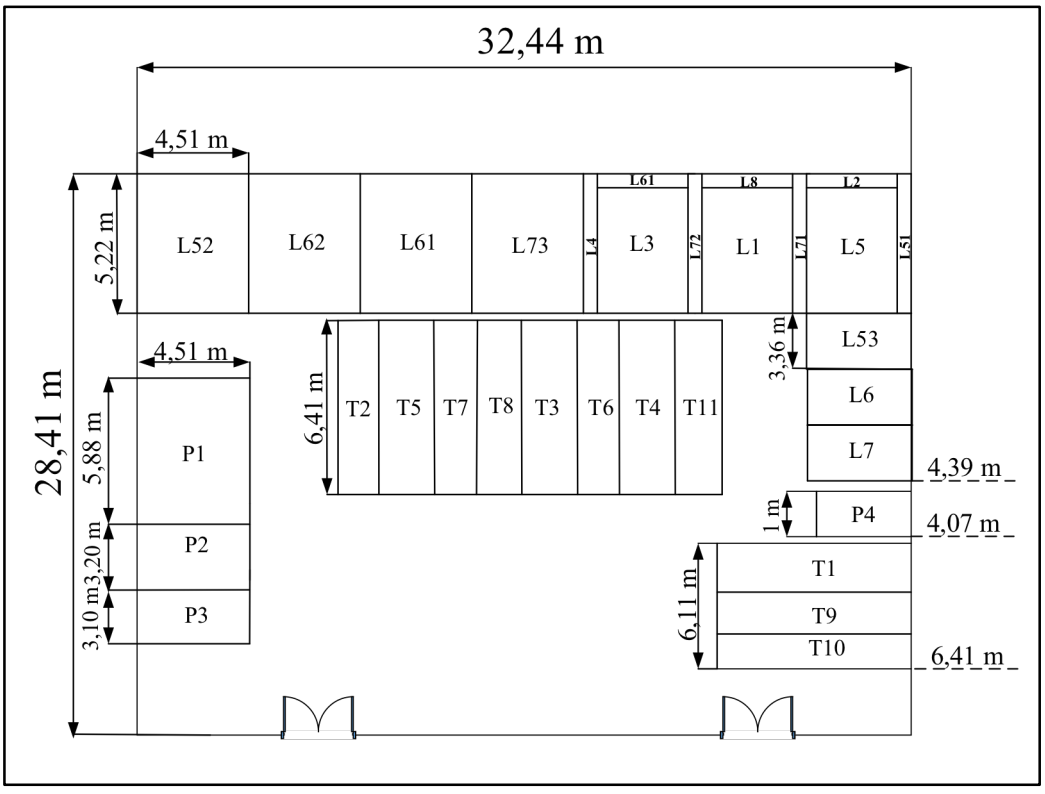
ISBN 978-602-73461-8-5

3. Perancangaan *Layout* Usulan

Perancangan *layout* usulan dilakukan setelah mendapatkan urutan perangkingan nilai *troughput* mulai dari yang tertinggi hingga terendah untuk logistik serta telah mengetahui slot penyimpanan masing-masing logistik. Selain menggunakan metode *dedicated storage* dalam melakukan perancangan usulan perlu mengikuti pedoman pergudangan BNPB. Logistik dan peralatan yang berada dalam gudang akan diletakkan sesuai hasil perhitungan dan pedoman pergudangaan BNPB yang ada.

Keterangan:

L52 : Tikar
L62 : Sandang
L61 : *Kids Ware*
L73 : *Family Kids*
L3 : Paket Perlengkapan Makan
L4 : Paket Makanan Lauk Pauk
L61 : Paket Rekresional
L1 : Paket Peralatan Dapur Keluarga
L72 : Makanan Tambahan Gizi
L8 : Tenda Gulung
L5 : Matras
L71 : Kelambu
L2 : Masker
L53 : Selimut
L6 : Karung
L7 : Paket Kesehatan Keluarga
P4 : Tumpukan Palet
L51 : Kantong Mayat
P1 : Generator Air Bersih, *Radiator Water Level*
P2 : Generator Air Bersih
P3 : Genset
T2 : Ambulan
T5 : Truk
T7 : Mobil Toilet Umum
T8 : Mobil Tanki Air
T1 : Mobil Pengeruk Tanah
T6 : Mobil Pemancar Sinyal
T4 : Mobil Dapur Umum Lapangan
T11 : Mobil Air Bersi
T3 : Mobil Logistik
T9 : Forklift Besar
T10 : Forklift Kecil



Gambar 3. *Layout* usulan

ISBN 978-602-73461-8-5

4. Nilai Koordinat *Layout* Usulan

Penentuan nilai koordinat sumbu x dan sumbu y untuk *layout* usulan dilakukan dengan tujuan sebagai *input* untuk melakukan perhitungan jarak antar area.

Tabel 4. Nilai koordinat area penyimpanan logistik *layout* usulan

Area	X	Y
L52	2,25	27,01
L62	6,77	27,01
L61	11,3	27,01
L73	15,78	27,01
L3	20,29	27,01
L1	24,9	27,01
L5	29,31	27,01
L53	28,31	24,97
L6	28,31	24,02
L7	28,31	22,72
Mobil Logistik	15,5	13,69

5. Jarak Antar Area *Layout* Usulan

Data yang digunakan dalam perhitungan ini adalah nilai koordinat sumbu x dan sumbu y pada *layout* usulan.

Tabel 5. Jarak antar area *layout* usulan (meter)

i/j	A	B	C	D	E	F	G	Q	X	Y	Mobil Logistik
L52	0	4,52	9,05	13,53	18,04	22,65	27,06	28,1	29,05	30,35	26,57
L62	4,52	0	4,53	9,01	13,52	18,13	22,54	23,58	24,53	25,83	22,05
L61	9,05	4,53	0	4,48	8,99	13,6	18,01	19,05	20	21,3	17,52
L73	13,53	9,01	4,48	0	4,51	9,12	13,53	14,57	15,52	16,82	13,6
L3	18,04	13,52	8,99	4,51	0	4,61	9,02	10,06	11,01	12,31	18,11
L1	22,65	18,13	13,6	9,12	4,61	0	4,41	5,45	6,4	7,7	22,72
L5	27,06	22,54	18,01	13,53	9,02	4,41	0	3,04	3,99	5,29	27,13
L53	28,1	23,58	19,05	14,57	10,06	5,45	3,04	0	0,95	2,25	24,09
L6	29,05	24,53	20	15,52	11,01	6,4	3,99	0,95	0	1,3	23,14
L7	30,35	25,83	21,3	16,82	12,31	7,7	5,29	2,25	1,3	0	21,84
Mobil Logistik	26,57	22,05	17,52	13,6	18,11	22,72	27,13	24,09	23,14	21,84	0

6. Total Momen Perpindahan *Layout* Usulan

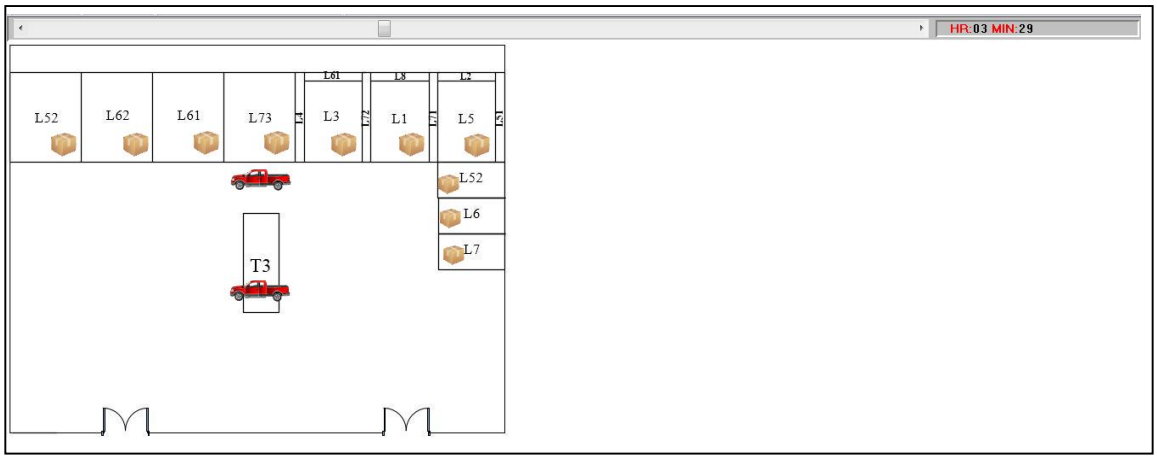
Perhitungan total momen perpindaha membutuhkan data frekuensi perpindahan selama satu tahu dikali dengan data jarak antar area. Nilai total momen perpindahan pada layout usulan sebesar 30.567,6 meter.

7. Simulasi *Layout* Usulan

Simulasi *layout* usulan dilakukan pada *layout* usulan yang telah dirancang.

Pada gambar 4 terlihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk melakukan simulasi pada *layout* usulan sebanyak 3 jam 29 menit.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 4. Hasil simulasi *layout* usulan

Perbandingan *layout* awal dan *layout* usulan dilakukan dengan tujuan untuk melihat perubahan nilai total momen perpindahan dan waktu simulasi antara *layout* awal dan *layout* usulan. Tabel 6 menunjukkan rekapitulasi hasil pengolahan data pada *layout* awal dan *layout* usulan.

Tabel 6. Rekapitulasi perbandingan *layout* awal dan *layout* usulan

Layout	Total Momen Perpindahan	Waktu Simulasi
Awal	34.917 meter/tahun	03:52:00
Usulan	30.567,6 meter/tahun	03:29:00

Tabel 6 menunjukkan bahwa *layout* usulan dapat dikatakan lebih baik daripada *layout* awal karena nilai total momen perindahan dan waktu simulasi layout usulan lebih kecil daripada *layout* awal. Selisih antara nilai total momen perpindahan *layout* awal dan *layout* usulan sebesar 4.4043,4 meter/tahun sedangkan selisih waktu simulasi antara *layout* awal dan *layout* usulan sebesar 23 menit. Selanjutnya, untuk menghitung persentase perbandingan *layout* awal dan layout usulan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Koreksi} = \frac{TM_0 - TM_1}{TM_0} \times 100\%$$
$$= \frac{34.917 - 30.567,6}{34917} \times 100\%$$
$$= \frac{4.349,4}{34917} \times 100\%$$
$$= 0,125 \times 100\%$$
$$= 12,5\%$$

Hasil dari perhitungan menunjukkan bahwa *layout* usulan akan meningkatkan nilai total momen perpindahan sebesar 12,5% dibandingkan dengan *layout* awal.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan dan perankingan logistik menggunakan metode *dedicated storage* maka logistik dengan nilai ranking tertinggi adalah *family kids* dengan nilai

ISBN 978-602-73461-8-5

throughput 54 sedangkan logistik dengan nilai ranking terendah adalah kantong mayat dan kelambu dengan nilai *throughput* 2.

2. Nilai total momen perpindahan *layout* usula lebih kecil dibandingkan dengan *layout* awal dimana nilai total momen perpindahan *layout* usulan sebesar 30.567,6 meter/tahun sedangkan untuk *layout* awal sebesar 34.917 meter/tahun.
3. Waktu yang digunakan dalam menjalankan simulasi pada *layout* usulan lebih kecil dibandingkan dengan *layout* awal dimana waktu pada *layout* usulan adalah 3 jam 29 menit sedangkan pada *layout* awal adalah 3 jam 52 menit.
4. *Layout* usulan dapat meningkatkan nilai total momen perpindahan sebesar 12,5% per tahun serta meminimumkan waktu simulasi 23 menit lebih cepat dibandingkan *layout* awal.

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan perancangan ulang tidak hanya pada gudang logsitik saja tetapi dilakukan perancangan ulang terhadap gudang logistik lantai 2, ruagan kantor serta seluruh area diluar gudang logistik yang masih menyimpan banyak peralatan untuk kebencanaan seperti toilet umum, perahu karet, tanki air, pipa dan mobil kebakaran.

Daftar Pustaka

Akpinar, M. *et al.* (2017) 'Simulation optimization for transportation system: A real case application', *TEM Journal*, 6(1), pp. 97–102.

Atan, S. A. and Ahmad, K. (2013) 'Application of Discrete Event Simulation for Production Line Performance Evaluation', 2013(August), pp. 2–6.

Efrataditama, A. V. and Wigati, S. S. (2016) 'Perancangan Tata Letak Gudang Dengan Metode Dedicated Storage Di Toko Listrik Anugrah Jaya'.

Fumi, A., Scarabotti, L. and Schiraldi, M. M. (2013) 'Minimizing Warehouse Space with a Dedicated Storage Policy', *International Journal of Engineering Business Management*, 5(1), pp. 1–8.

Hidayat, R. D. R., Firdaus, M. I. and Lesmini, L. (2017) 'Pengelolaan Gudang Logistik Kemanusiaan Bnpb', 1(2), pp. 1–12.

Lee, M. K. and Elsayed, E. A. (2005) 'Optimization of warehouse storage capacity under a dedicated storage policy', *International Journal of Production Research*, 43(9), pp. 1785–1805.

Lukman, A. (2007) *Manajemen dan Logistik Bantuan Kemanusiaan dalam Sektor Kesehatan*. Jakarta: EGC.

Peraturan Kepala Badan Penanggulangan Bencana No.13 Tahun 2008

Puteri, R. A. M. and Sudarwati, W. (2016) 'Pengukuran Line Balancing dan Simulasi ProModek di PT. Caterpillar Inonesia', 3(2).

Siska, M. and Sabri, F. (2016) 'Rancang Ulang dan Simulasi Tata Letak Lantai Produksi Menggunakan Metode Pairwise Exchange di PT . Alam Permata Riau', 13(2), pp. 249–257.

ISBN 978-602-73461-8-5

Profiling Mahasiswa Program Studi S2 Teknik Industri Universitas Gadjah Mada

Marta Hayu Raras Sita Rukmika Sari , Andi Rahadiyan Wijaya
Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No.2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281
Telp. 0274 513665
E-mail: m.hayu@mail.ugm.ac.id

Intisari

Tingginya proporsi mahasiswa terlambat lulus, munculnya mahasiswa yang mengalami Drop Out serta adanya fakta bahwa tidak semua alumni menggunakan ijazah S2 dalam mencari pekerjaan, menimbulkan keingintahuan prodi terhadap pola mahasiswa terkait masa studi, performansi dan pekerjaan setelah lulus dari prodi S2 Teknik Industri UGM. Sementara itu, demi kelancaran proses akademik, perguruan tinggi pasti memiliki data mahasiswa yang tersimpan dalam sistem informasi khususnya data tahun 2008-2015. Setelah mahasiswa lulus, data-data tersebut cenderung tidak digunakan secara maksimal. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai bagaimana pola/ profil mahasiswa S2 Teknik Industri UGM yang terbentuk yang terbentuk dengan memanfaatkan data-data yang ada. Penelitian ini merupakan penelitian Educational Data Mining yang dilakukan menggunakan bantuan software RapidMiner dengan metode Decision Tree algoritma ID3. Hasil penelitian ini berupa profil mahasiswa yang diwakilkan dengan 8 profiling. Di antara kedelapan profiling tersebut, profil mahasiswa terkait nilai tesis memiliki tingkat akurasi cukup tinggi yaitu mencapai 76% dengan memberikan informasi bahwa nilai tesis mahasiswa sangat bergantung pada dosen pembimbing utama.

Kata kunci: educational data mining, profiling, decision tree, algoritma ID3

1. Pendahuluan

Salah satu aspek penting untuk mengevaluasi keberhasilan penyelenggaraan program studi di perguruan tinggi adalah mahasiswa (Ridwan *et al.*, 2013). Mahasiswa merupakan peserta didik pada jenjang pendidikan perguruan tinggi yang haknya diatur dalam Undang-Undang no. 20 tahun 2003 Bab V tentang Peserta Didik.

Demi kelancaran proses akademik, perguruan tinggi pasti memiliki data mahasiswa yang tersimpan dalam sistem informasi. Data tersebut terdiri dari data registrasi mahasiswa, data akademis mahasiswa setiap semesternya hingga data kelulusan mahasiswa. Setelah mahasiswa lulus data-data tersebut cenderung tidak digunakan secara maksimal. Oleh karena itu, data-data ini perlu dimanfaatkan untuk dapat menggali informasi sedalam-dalamnya. Namun, tidak mudah untuk membuat prediksi dengan cara memanfaatkan berbagai data mentah yang dimiliki oleh institusi, sehingga diperlukan teknik *Educational Data Mining* untuk membantu mengubah data mentah dari sistem menjadi sebuah informasi yang berpotensi memiliki dampak positif terhadap dunia pendidikan (Kaur *et al.*, 2015).

Setiap institusi pendidikan pasti ingin berkontribusi untuk memajukan dunia pendidikan. Salah satunya adalah Program Studi S2 Teknik Industri, Departemen Teknik Mesin & Industri Universitas Gadjah Mada. Di awal berdirinya prodi tahun 2008, mahasiswa cenderung mengalami keterlambatan waktu kelulusan. Waktu kelulusan untuk jenjang S2 ini normalnya adalah 4 semester, namun tidak sedikit mahasiswa menempuh

ISBN 978-602-73461-8-5

pendidikan dengan keterlambatan lulus lebih dari 4 semester. Demi meningkatkan kualitasnya, prodi mengeluarkan kebijakan bahwa batas maksimum kelulusan adalah 8 semester. Sejak itu tingkat keterlambatan kelulusan dapat berkurang, namun mulai terdapat mahasiswa yang harus *Drop Out* karena tidak dapat menyelesaikan masa studinya sesuai ketentuan yang berlaku. Sekitar 64% mahasiswa yang masuk pada tahun 2008-2015 mengalami keterlambatan lulus dengan proporsi 52% terlambat dibawah 4 semester sedangkan 12% mengalami keterlambatan mulai dari 4 semester ke atas. Sisanya sebanyak masing-masing 5% untuk mahasiswa *Drop Out* akibat tidak dapat menyelesaikan studi sesuai waktu yang ditetapkan dan mahasiswa yang keluar sebelum masa studi berakhir.

Tingginya proporsi mahasiswa yang mengalami keterlambatan lulus, hingga munculnya mahasiswa yang mengalami *Drop Out* ini, mendorong penelitian untuk mengetahui pola kelulusan mahasiswa terkait masa studi dan performansi mahasiswa sebagai bahan evaluasi. Selain itu adanya fakta bahwa tidak semua alumni menggunakan ijazah S2 dalam mencari pekerjaan juga menimbulkan keingintahuan prodi terhadap pola kelulusan mahasiswa terkait pekerjaan setelah mahasiswa lulus dari prodi S2 Teknik Industri UGM.

Penggunaan *Educational Data Mining* memiliki berbagai macam tujuan. Beberapa penelitian menggunakan EDM untuk memprediksi pola akademis dengan meninjau ketepatan masa studi peserta didik dalam menempuh pendidikannya seperti penelitian yang dilakukan oleh Abu-oda & El-halees (2015), Kusumawati *et al* (2015), Saefulloh & Moedjiono (2013), Jaman (2013), Ameri *et al* (2016), Ojha *et al* (2017), Aulck *et al* (2016). Selain itu terdapat penelitian dengan tujuan memprediksi pola akademis dengan meninjau performansi peserta didik seperti penelitian yang dilakukan oleh Ahmed & Elaraby (2014), Asif *et al* (2017), Ridwan *et al* (2013), Wanli *et al* (2014), Thakur *et al* (2014). Dan ada pula penelitian yang bertujuan untuk memprediksi pola akademis peserta didik dengan meninjau performansi peserta didik terhadap eksperimen atau skenario yang diberikan seperti penelitian yang dilakukan Márquez-Vera *et al* (2016) yaitu penelitian untuk memprediksi pola akademis dengan cara melakukan 3 kali eksperimen. Serta penelitian yang dilakukan oleh Zacharis (2016) untuk memprediksi performansi peserta didik menggunakan skenario *blended learning*.

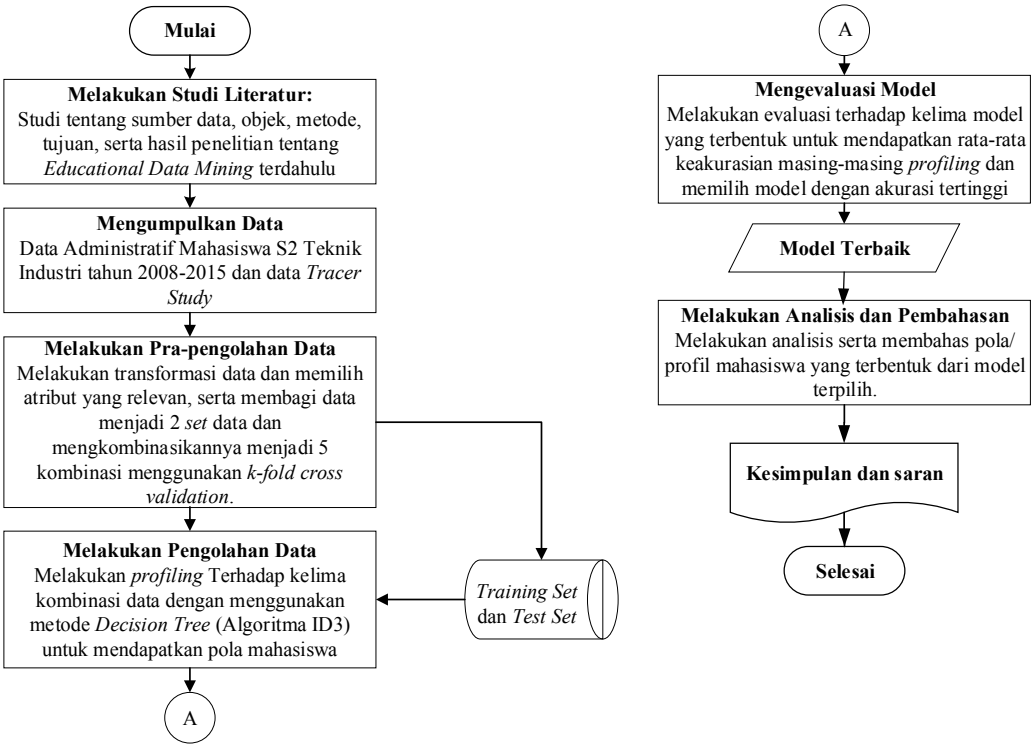
Berdasarkan uraian di atas, kedepannya penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan data yang dimiliki oleh prodi dan data hasil *tracer study* untuk mendapatkan pola/ profil mahasiswa sebagai bahan evaluasi dalam penyelenggaraan Program Studi S2 Teknik Industri Universitas Gadjah Mada.

2. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Decision Tree* dengan algoritma ID3. Metode *Decision Tree* merupakan metode klasifikasi sederhana yang efektif digunakan untuk memprediksi dan menjelaskan hubungan antar atribut dan nilai target. *Decision Tree* berbeda dengan metode lain yang lebih fokus terhadap hasil akhir prediksi tanpa mengetahui hubungan antar atribut/ pola yang terjadi dalam prosesnya. Sehingga metode *Decision Tree* dapat dikatakan tepat digunakan untuk memprofilkan mahasiswa S2 Teknik Industri UGM.

Detail tahap penelitian ini digambarkan dengan jelas menggunakan diagram alir pada Gambar 1. berikut:

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 1. Diagram alir tahap penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Mula-mula perlu dilakukan transformasi dan seleksi atribut terhadap data yang dimiliki agar data tidak terlalu bervariasi dan juga memiliki format yang sesuai. Setelah transformasi data dan seleksi atribut dilakukan, langkah selanjutnya adalah mengolah data untuk masing-masing *profiling* dengan menggunakan *Decision Tree* (algoritma ID3) yang ada pada *Software RapidMiner*. Dikarenakan kedelapan *profiling* (*profiling* status mahasiswa, lama masa studi, IPK, nilai tesis, lama pengerjaan tesis, waktu tunggu kerja, jenis pekerjaan dan penghasilan pertama) memiliki langkah-langkah yang sama, maka hasil pengolahan data yang akan ditampilkan hanya *profiling* status mahasiswa saja.

Sebelum diolah, data untuk masing masing *output* dibagi menjadi 5 bagian dengan proporsi 4:1 untuk *training set* dan *test set*. Dengan menggunakan kombinasi tersebut maka didapatkan 5 model untuk masing-masing *profiling*. Setelah itu, data masing-masing model yang sudah dikelompokkan menjadi 2 set data yaitu *training set* dan *test set* tersebut diolah menggunakan *Software RapidMiner.* Hasil yang didapat dari pengolahan tersebut adalah 5 kombinasi model *profiling* yang memiliki tingkat akurasi yang berbeda-beda. Tabel 1. berikut adalah rekap akurasi kelima model untuk *profiling* status mahasiswa.

Tabel 1. Rekap Akurasi Model *Profiling* Status Mahasiswa

Model *Profiling*	Tingkat Akurasi
Model 1	56,25%
Model 2	50,00%
Model 3	43,75%
Model 4	56,25%
Model 5	56,25%
Rata-rata	**52,50%**

ISBN 978-602-73461-8-5

Dari rekap tersebut dapat dilihat bahwa rata-rata akurasi untuk *profiling* status mahasiswa adalah sebesar 52,50%.

Dari kelima model tersebut kemudian dipilih satu model yang hasil *profiling*nya akan dianalisis lebih lanjut. Model yang akan dipilih adalah model yang memiliki keakurasian paling tinggi. *Profiling* status mahasiswa ini memiliki 3 model dengan tingkat akurasi tertinggi, maka selanjutnya pemilihan dilakukan berdasarkan *class recall* dan *class precision* yang paling tinggi. Tabel 2. adalah *confusion matrix* performansi data yang memberikan informasi terkait *accuracy*, *class recall*, dan *class precision profiling* status mahasiswa yang terpilih.

Tabel 2. *Confusion matrix* performansi *profiling* status mahasiswa

	***true* Aktif**	***true* Keluar/ DO**	***class precision***
pred. Aktif	6	3	66,67%
pred. Keluar/ DO	4	3	42,86%
class recall	60,00%	50,00%	

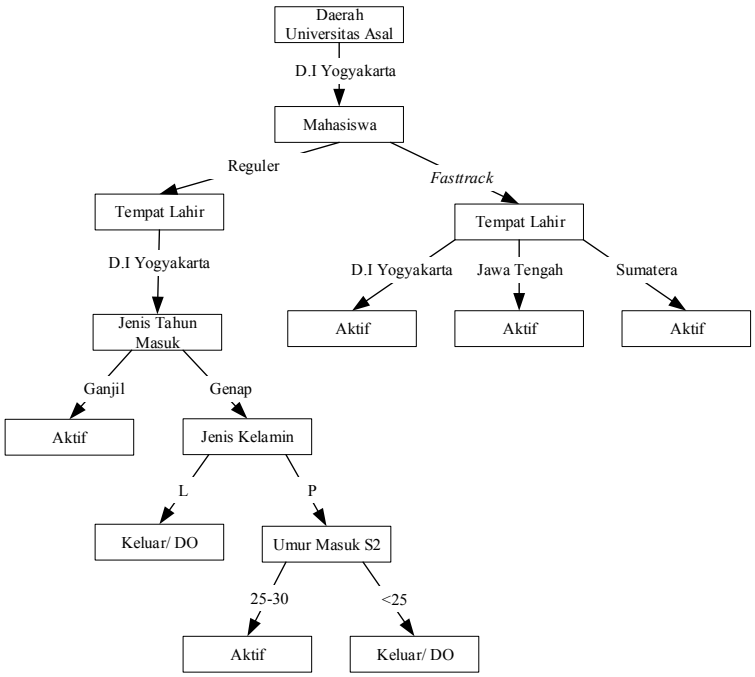
accuracy: 56,25%

Langkah-langkah di atas dilakukan untuk kedelapan *profiling* sehingga menghasilkan 8 pola/ profil mahasiswa yang unik untuk dibahas.

1. *Profiling* Status Mahasiswa

Decision Tree menunjukkan simpul teratas untuk *profiling* status mahasiswa ini adalah Daerah Universitas yang terdiri dari D.I Yogyakarta, Jawa Tengah, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Sumatera, dan lain-lain. Sebesar 65% mahasiswa S2 Teknik Industri UGM berasal dari universitas di D.I Yogyakarta. Tidak heran jika mahasiswa dengan daerah universitas asal D.I Yogyakarta memiliki peluang besar mengalami kasus keluar/ DO. Namun hal tersebut hanya berlaku untuk mahasiswa reguler saja, sedangkan mahasiswa *fasttrack* lebih berpeluang besar untuk tetap aktif hingga akhir masa studi. Gambar 2. berikut menggambarkan potongan *decision tree* dari uraian *profiling* status mahasiswa di atas.

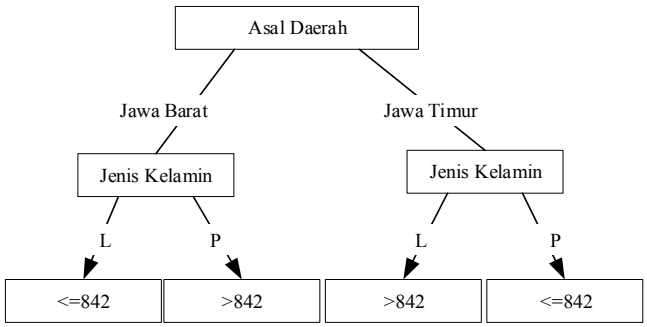
ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 2. Potongan *decision tree profiling* status mahasiswa

2. *Profiling* Lama Masa Studi

Profiling lama masa studi juga memiliki keunikan tersendiri yaitu atribut yang terpilih menjadi simpul teratas adalah Asal Daerah seperti D.I Yogyakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Kalimantan, Sumatera, dan lain-lain. Asal daerah tempat tinggal merupakan salah satu faktor yang dapat berpengaruh terhadap prestasi belajar (Indriyani, 2014). Setelah simpul teratas, terdapat 2 daerah yang memiliki simpul yang sama setelahnya yaitu daerah Jawa Barat dan Jawa Timur. Kedua daerah ini sama-sama memiliki simpul jenis kelamin, namun dengan hasil yang berbeda. Untuk mahasiswa laki-laki dengan daerah asal Jawa Barat diprediksi dapat menyelesaikan masa studi <=842 hari, sedangkan mahasiswa perempuan dapat menyelesaikan studi >842 hari. Hal ini bertolak belakang dengan mahasiswa daerah asal Jawa Timur dimana polanya sesuai dengan penelitian yang dilakukan Voyer (2014). Voyer (2014) melakukan penelitian terhadap lebih dari 30 negara berdasarkan data tahun 1914-2011 dan menyimpulkan bahwa perempuan lebih unggul dibidang akademis dibandingkan dengan laki-laki. Gambar 3. berikut menggambarkan potongan *decision tree* dari uraian *profiling* lama masa studi di atas.

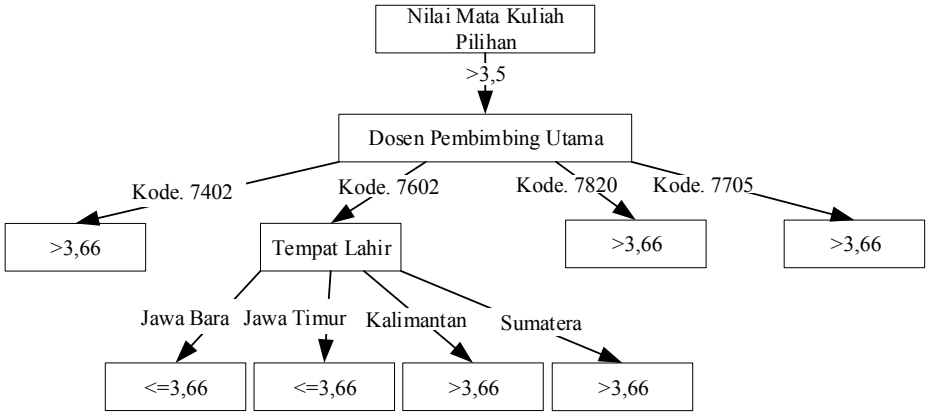


Gambar 3. Potongan *decision tree profiling* lama masa studi

ISBN 978-602-73461-8-5

3. *Profiling* IPK

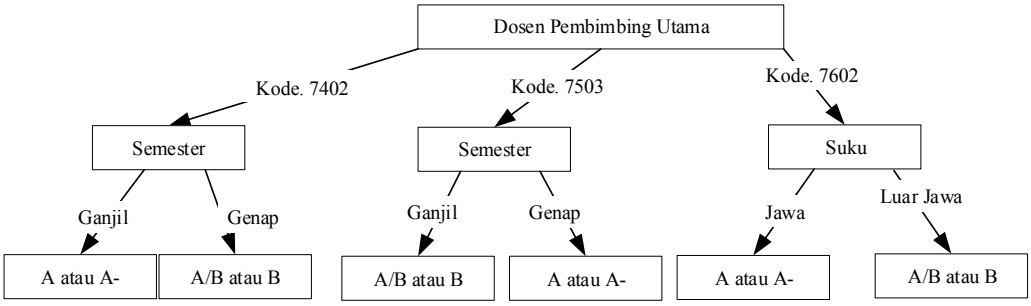
Profiling IPK yang terbentuk cukup sederhana yaitu hanya melibatkan 2 atribut. Atribut pertama yaitu nilai mata kuliah pilihan yang berperan sebagai simpul teratas. Atribut mata kuliah pilihan menjadi atribut terpilih bahkan menjadi simpul pertama diduga karena mata kuliah pilihan adalah mata kuliah yang diambil oleh mahasiswa berdasarkan minatnya sendiri. Menurut Harackiewicz (2010), minat berperan penting dalam pencapaian tujuan. Sehingga mahasiswa yang mendapat nilai rendah untuk mata kuliah pilihan cenderung tidak dapat mencapai tujuannya secara maksimal. Seperti tergambar pada pola bahwa mahasiswa yang memiliki nilai mata kuliah pilihan <=3,5 berpotensi besar untuk mendapatkan IPK<=3,66. Sedangkan untuk mahasiswa yang memiliki nilai mata kuliah pilihan >3,5 masih memiliki 2 kemungkinan antara mendapatkan lebih dari 3,66 atau kurang dari 3,66. Kemungkinan ini didasarkan pada simpul kedua yaitu dosen pembimbing utama. Dosen pembimbing utama sangat berpengaruh terhadap IPK mahasiswa karena memegang mata kuliah dengan SKS tertinggi yaitu Tesis. Oleh karena itu meskipun mata kuliah pilihan sudah mendapatkan nilai >3,5 tidak menjamin mahasiswa mendapatkan IPK >3,66. Gambar 4. berikut menggambarkan potongan *decision tree* dari uraian *profiling* IPK di atas.



Gambar 4. Potongan *decision tree profiling* IPK

4. *Profiling* Nilai Tesis

Profiling nilai tesis ini memiliki rata-rata keakurasian paling tinggi dibandingkan ketujuh *profiling* lainnya yaitu mencapai 76%. Pada *profiling* ini, dosen menjadi faktor yang berperan penting. Atribut dosen pembimbing utama menjadi simpul teratas pada *profiling* ini. Yang membedakan yaitu masing-masing dosen memiliki pola tersendiri dalam memberi nilai tesis. Hal ini dimungkinkan karena kadang dosen memiliki sedikit sifat subjektif dalam penilaian (Triyanto & Widyabakti, 2010). Gambar 5. berikut menggambarkan potongan *decision tree* dari uraian *profiling* nilai tesis di atas.

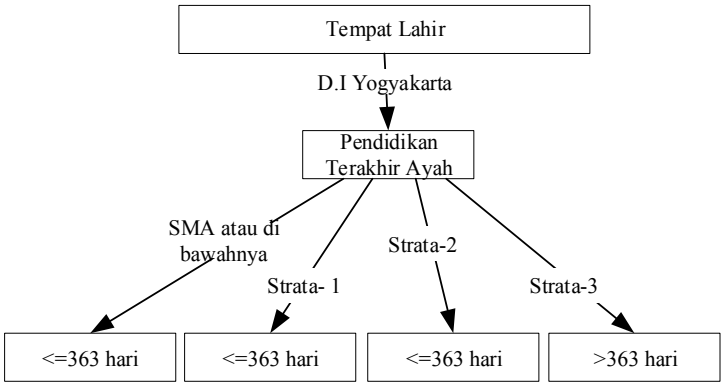


Gambar 5. Potongan *Decision Tree Profiling* Nilai Tesis

ISBN 978-602-73461-8-5

5. *Profiling* Lama Pengerjaan Tesis

Profiling lama pengerjaan tesis memilik pola yang cukup beragam hal ini diduga karena lama tidaknya seseorang mengerjakan tesis tergantung dari dalam diri sendiri. Hal ini digambarkan dengan pola yang cenderung berasal dari atribut-atribut pribadi mahasiswa, misalnya tempat lahir yang menjadi simpul teratas *profiling* ini. Setelah itu diikuti atribut yang menggambarkan masing-masing individu seperti suku dan jenis kelamin. Namun ada potongan pola yang cukup unik terbentuk pada *profiling* ini, yaitu unsur keluarga seperti pendidikan terakhir ayah. Memiliki keluarga khususnya ayah dengan latar belakang pendidikan tinggi seharusnya dapat membantu anaknya menyelesaikan tesis dalam waktu yang cepat seperti penelitian yang telah dilakukan Dasmo *et al* (2011) dan Utaya (2016) yang menyatakan bahwa tingkat pendidikan orang tua berpengaruh positif terhadap prestasi belajar. Namun *profiling* ini menyatakan sebaliknya, mahasiswa yang memiliki latar belakang pendidikan ayah strata-3 diprediksi mampu menyelesaikan tesis >363 hari, sedangkan mahasiswa yang memiliki latar belakang pendidikan ayah dibawah Strata -3 diprediksi mampu menyelesaikan tesis dalam waktu <=363 hari. Perbedaan ini diduga karena objek penelitian Dasmo *et al* (2011) dan Utaya (2016) adalah pelajar berbeda dengan penelitian saat ini. Gambar 6. berikut menggambarkan potongan *decision tree* dari uraian *profiling* lama pengerjaan tesis di atas.



Gambar 6. Potongan *decision tree profiling* lama pengerjaan tesis

6. *Profiling* Lama Pengerjaan Tesis

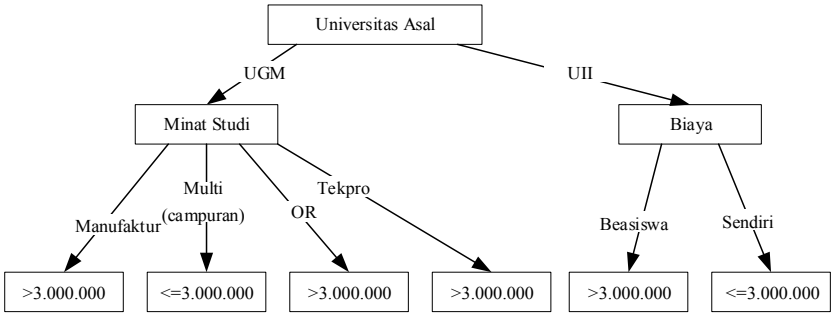
Dari hasil pengolahan data, satu-satunya *profiling* yang memiliki rata-rata keakurasian rendah/ dibawah 50% adalah *profiling* waktu tunggu kerja. Namun pola yang didapatkan cukup masuk akal, dimana partisipasi dalam organisasi menjadi simpul teratas dalam *profiling* waktu tunggu kerja. Mahasiswa pada saat S1 memiliki partisipasi organisasi cukup aktif dan kurang aktif masih diprediksi mendapatkan pekerjaan dalam kurun waktu <=3 bulan, dan mahasiswa yang tergolong pasif diprediksi mendapatkan pekerjaan dalam kurun waktu >3 bulan. Hal ini sesuai fakta lapangan bahwa "aktif berorganisasi, modal utama memasuki dunia kerja" seperti artikel yang ditulis oleh Maulana (2012). Oleh karena itu mahasiswa yang pasif terhadap organisasi akan cenderung mendapat pekerjaan lebih lama. Potongan *Profiling* waktu tunggu kerja secara jelas ditunjukkan seperti pada Gambar 7.

Gambar 7. Potongan *decision tree profiling* waktu tunggu kerja

ISBN 978-602-73461-8-5

7. *Profiling* Penghasilan Pertama

Profiling penghasilan pertama memiliki atribut universitas asal sebagai simpul pertama. Universitas asal yang dipolakan dalam *profiling* ini antara lain UGM, UII, UNS, UPN, Undip dan lain -lain. Namun dengan melihat pola dari UII dan UGM saja diharapkan dapat mewakili mahasiswa S2 Teknik Industri UGM karena dari tahun ke tahun mayoritas universitas asal mahasiswa S2 Teknik Industri UGM berasal dari UII dan UGM. Dari *profiling* tersebut dapat diketahui bahwa mahasiswa S2 TI UGM yang berasal dari UII dengan biaya perkuliahannya berupa beasiswa diprediksi mendapatkan penghasilan pertama >3.000.000 sedangkan dengan biaya sendiri diprediksi mendapatkan penghasilan pertama <=3.000.000. Hal ini dapat digunakan sebagai bukti bahwa mahasiswa yang mendapatkan beasiswa adalah orang yang memiliki potensi mendapatkan penghasilan tinggi, dikarenakan adanya beasiswa dapat memberi pengaruh positif terhadap motivasi mahasiswa (Waskito, 2013). Sedangkan mahasiswa S2 yang berasal dari UGM, penghasilan pertama digolongkan berdasarkan minat studi. Mahasiswa dengan minat studi manufaktur, OR, dan tekpro diprediksi mendapatkan gaji pertama >3.000.000 sedangkan untuk mahasiswa yang mengambil minat studi lebih dari 1 diprediksi medapatkan penghasilan pertama <=3.000.000. Hal ini seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa minat berperan penting dalam pencapaian tujuan (Harackiewicz, 2010). Mahasiswa yang memiliki satu minat saja diduga memiliki ilmu yang dalam untuk dijadikan kekuatan dalam mencari pekerjaan dengan penghasilan >3.000.000. Gambar 8. berikut menggambarkan potongan *decision tree* dari uraian *profiling* penghasilan pertama di atas.

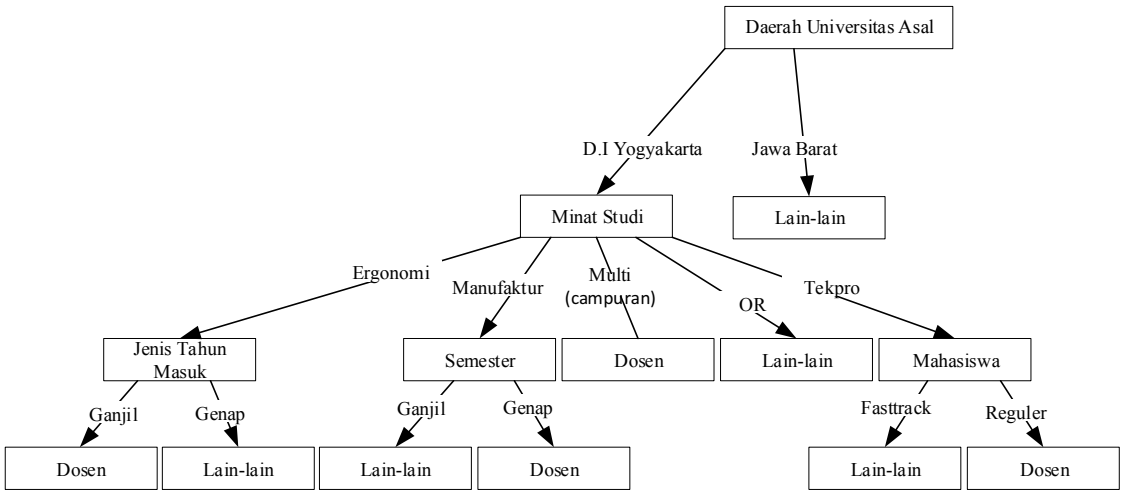


Gambar 8. Potongan *decision tree profiling* penghasilan pertama

8. *Profiling* Jenis Pekerjaan

Mayoritas mahasiswa S2 Teknik Industri UGM memilih menjadi dosen setelah lulus. Hal ini tercermin pada jawaban mahasiswa dan alumni pada pertanyaan "apa alasan anda mengambil pendidikan S2" yang terdapat pada *tracer study*. Namun kenyataanya tidak semua alumni pada akhirnya menjadi dosen. Fungsi *Profiling* jenis pekerjaan adalah untuk melihat pola mahasiswa yang diprediksi menjadi dosen atau pekerjaan selain dosen. *Profiling* ini dimulai dengan atribut daerah universitas asal sebagai simpul teratas. Dapat dilihat pada Gambar 9. bahwa daerah universitas asal yang memiliki pola beragam adalah daerah D.I Yogakarta hal ini dikarenakan mayoritas mahasiswa S2 TI UGM berasal dari universitas di D.I Yogyakarta, selain itu mahasiswa dari hampir seluruh daerah universitas diprediksi menjadi dosen, hanya mahasiswa dari Universitas di Jawa Barat saja yang diprediksi mendapatkan pekerjaan selain dosen. Gambar 9. berikut menggambarkan potongan *decision tree* dari uraian *profiling* jenis pekerjaan di atas.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 9. Potongan *decision tree profiling* jenis pekerjaan

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

1. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa data yang diperoleh dari prodi dan data *tracer study* dapat dimanfaatkan untuk memprediksi pola/ profil mahasiswa S2 Teknik Industri UGM. Di antara kedelapan profil yang didapat, profil mahasiswa terkait nilai tesis memiliki tingkat akurasi cukup tinggi yaitu mencapai 76% dengan memberikan informasi bahwa nilai tesis mahasiswa sangat bergantung pada dosen pembimbing utama.
2. Keseluruhan hasil *Profiling* mengandung berbagai macam informasi baru yang diharapkan dapat berguna sebagai bahan evaluasi penyelenggaraan program studi S2 Teknik Industri UGM.

4.2. Saran

1. Sebaiknya menambah jumlah data yang didapat dari instrumen *tracer study*. Hal ini dapat dilakukan dengan cara meminta bantuan prodi dalam membagikan instrumen tersebut, agar mahasiswa dan alumni banyak yang memberi respon positif untuk mengisi *tracer study* tersebut.
2. Jika jumlah data memadai, dapat menambah kategori atribut *output* menjadi lebih dari 2 kategori.
3. Penelitian selanjutnya dapat mencoba menggunakan algoritma lain atau dengan metode lain.

Daftar Pustaka

Abu-oda, Ghadeer S., and Alaa M El-halees., 2015, Data Mining in Higher Education: University Student Dropout Case Study, *International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process*, Vol.5, No.1, 15–27.

Ahmed, Abeer Badr El Din., and Ibrahim Sayed Elaraby., 2014, Data Mining: A Prediction for Student's Performance Using Classification Method, *World Journal of Computer Application and Technology,* Vol.2, No.2, 43–47.

Ameri, Sattar., Mahtab J. Fard., Ratna B. Chinnam., and Chandan K. Reddy., 2016, Survival Analysis Based Framework for Early Prediction of Student Dropouts, *Proceedings of the 25th ACM International on Conference on Information and Knowledge Management (CIKM)*, 903–912.

ISBN 978-602-73461-8-5

Arief Maulana., 2012, Aktif Berorganisasi Modal Utama untuk Masuki Dunia Kerja, http://www.unpad.ac.id/2012/09/aktif-berorganisasi-modal-utama-untuk-masuki-dunia-kerja/ (online accessed: 25 Agustus 2018)

Asif, Raheela., Agathe Merceron., Syed Abbas., and Najmi Ghani., 2017, Analyzing Undergraduate Students' Performance Using Educational Data Mining, *Computers & Education*, Vol.113, 177–194.

Aulck, Lovenoor., Nishant Velagapudi., Joshua Blumenstock., and Jevin West., 2016, Predicting Student Dropout in Higher Education, *International Conference on Machine Learning and Application*, 16-20

Dasmo, Nurhayati, dan Marhento, G., 2011, Pengaruh Tingkat Pendidikan dan Pola Asuh Orang Tua terhadap Prestasi Belajar IPA, *Jurnal Formatif*, Vol.2, No.2, 132–139.

Harackiewicz, J. M., and Hulleman, C. S. 2010. The Importance of Interest: The Role of Achievement Goals and Task Values in Promoting the Development of Interest. *Social and Personality Psychology Compass*, Vol.4, No.1, 42–52.

Hurlock, Elizabeth B., 1997, *Psikologi Perkembangan Suatu pendekatan rentang kehidupan*, Edisi kelima, Erlangga, Jakarta.

Indriyani, Ratna., 2014, *Pengaruh Asal Sekolah dan Tempat Tinggal terhadap Prestasi Belajar Mahasiswa Prodi D3 Kebidanan Universitas Wiraraja Sumenep*, Tesis Magister Kedokteran Keluarga Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Jaman, Jajam Haerul., 2013, Prediksi Kelulusan Mahasiswa Dengan Metode Algoritma C4.5, *SYNTAX Jurnal Komputer*, Vol.2, No.2, 1–6.

Kaur, Parneet., Manpreet Singh., and Gurpreet Singh Josan., 2015, Classification and Prediction Based Data Mining Algorithms to Predict Slow Learners in Education Sector, *Procedia Computer Science*, Vol.57, 500–508.

Kusumawati, Dewi., Wing Wahyu Winarno., and M Rudyanto Arief., 2015, Prediksi Kelulusan Mahasiswa menggunakan Metode Neural Network dan Particle Swarm Optimization, *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia*, 6–8.

Márquez-vera, Carlos., Alberto Cano., Cristobal Romero., Amin Yousef., Mohammad Noaman., Habib Mousa Fardoun., and Sebastian Ventura., 2015, Early Dropout Prediction Using Data Mining: a Case Study with High School Students, *Expert Systems Article*, Vol.33, No.1, 107–24.

Kumar, M., and Singh, P. A. J., 2017, Evaluation of Data Mining Techniques for Predicting Student' Performance, *International Journal of Modern Education and Computer Science*, 25–31.

Ojha, Tushar., Gregory L Heileman., Manel Martinez-ramon., and Ahmad Slim., 2017, Prediction of Graduation Delay Based on Student Performance, *Institute of Electrical and Electronics Engineering*, 3454–3460.

Presiden Republik Indonesia, *Undang-Undang No. 20 Tahun 2003 Bab 5 tentang Peserta Didik.*

Ridwan, Mujib., Hadi Suyono., and M Sarosa., 2013, Penerapan Data Mining untuk Evaluasi Kinerja Akademik Mahasiswa menggunakan Algoritma Naive Bayes Classifier, *Jurnal Electrics, Electronics, Communications, Controls, Informatics, Systems* (*EECCIS*), Vol 7, No.1, 59–64.

Saefulloh, Asep., and Moedjiono., 2013, Penerapan Metode Klasifikasi Data Mining untuk Prediksi Kelulusan Tepat Waktu, *InfoSys Journal*, Vol.2, No.1, 41–54.

Thakur, Gautam S., Mohammed M Olama., Allen W Mcnair., Sreenivas R Sukumar., and Scott Studham., 2014, Towards Adaptive Educational Assessments: Predicting Student Performance Using Temporal Stability and Data Analytics in Learning Management Systems, *Proceedings 20th Association for Computing Machinery (ACM) SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 1-8.

ISBN 978-602-73461-8-5

Triyanto dan Sabatari, W., 2010, Kolaborasi Penilaian Subyektif dan Obyektif, *Jurnal Penabur*, Vol. 5, No. 2, 1-12.

Utaya, S., 2016, Pengaruh Latar Belakang Tingkat Pendidikan Orang tua dan Gaya Belajar Terhadap Hasil Belajar Siswa, *Jurnal Pendidikan*, Vol.1, No. 3, 486–491.

Voyer, D., and Voyer, S. D., 2014, A Gender Differences in Scholastic Achievement : A Meta-Analysis, *Psychological Bulletin Advance online publication,* 1-31.

Wanli, Xing., Rui Guo., Eva Petakovic., and Sean Goggins., 2015, Participation-Based Student Final Performance Prediction Model through Interpretable Genetic Programming: Integrating Learning Analytics, Educational Data Mining and Theory, *Computers in Human Behavior*, Vol.47, 168–181.

Waskito, D., 2012, Motivation of The Students of The Economics Faculty of Yogyakarta State University in 2012, *Jurnal UNY*, 12–22.

Zacharis, Nick Z., 2016, Predicting Student Academic Performance in Blended Learning Using Artificial Neural Networks, *International Journal of Artificial Intelligence & Applications,* Vol.7, No.5, 17–29.

ISBN 978-602-73461-8-5

Analisis Pola Perpindahan Pemilihan Tipe Mobil pada Showroom XYZ dengan Menggunakan *Markov Chains*

Nazaruddin, Pudji Astuti
Magister Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti
Kampus A, Jalan Kyai Tapa No.1, Jakarta 11440
Telp.021-5605834, 5663232 Pes. 8401-8434
E-mail: nazarhasibuan10@gmail.com

Intisari

Showroom XYZ mendapati banyak perbedaan selera dan alasan para konsumen dalam pemakaian mobil. Showroom XYZ memiliki empat tipe mobil paling dominan dalam penjualan seperti Mobilio, CR-V, Jazz, Brio. Dari perubahan tipe tersebut dilakukan pemetaan market share dengan menggunakan pendekatan Markov Chain. Markov Chain adalah salah satu metode matematika yang bisa gunakan untuk memperkirakan suatu perubahan atau perpindahan suatu pola, teknik Markov Chain dilakukan dengan menghitung probabilitas dari perolehan dan kehilangan yang terjadi. Tujuan dari penelitian ini untuk mengukur perpindahan selera masyarakat terhadap tipe mobil di periode yang akan datang pada showroom XYZ,dari perhitungan tersebut akan diperoleh peta market share tiap tipe-tipe mobil. Dari penelitian tipe *C-RV yang awalnya peminatnya paling banyak mengalami penurunan dari 35% kontribusi penjualan menjadi 23%, sedangkan satu-satunya tipe mobil yang mengalami kenaikan adalah tipe brio, pada awalnya market share-nya 12% menjadi 21%, kemudian pada periode ke-3 mengalami kenaikan lagi sebesar 24%.*

Kata kunci: Markov Chain, Market Share

1. Pendahuluan

Mobil merupakan salah satu kebutuhan yang termasuk ke golongan tersier. Alat transfortasi ini merupakan bisnis yang tergolong cepat perkembangan dan inovasinya. Dalam hal ini masyrakat selalu memiliki selara yang berbeda-beda terhadp jenis tipe mobil yang akan dibeli ataupun mobil yang akan ditukar.

Showroom XYZ merupakan salah satu usaha dalam penyedia penjualan ataupun penukaran mobil di daerah Jakarta, dalam menjalakan usahanya, showroom XYZ mendapati banyak pelanggan yang memiliki perbedaan alasan dalam pembelian mobil ataupun penukaran mobil lama ke mobil baru, kejadian ini membuat showroom harus jeli melihat pergerakan minat konsumen dalam pemilihan mobil. Perusahaan harus tau arah pergerakan dan perpindahan pilihan konsumen, tidak hanya itu perusahaan juga harus tau faktor apa yang membuat konsumen beralih dari mobil tipe tertentu ke mobil dengan tipe lain. Dengan mengidentifikasi perpindahan pola pemilihan tersebut, perusahaan akan mempunyai gambaran dan kesiapan dalam tren konsumen dalam pemilihan mobil. Dengan demikian perusahaan dapat melihat kontribusi tipe mobil yang memiliki *market share* yang naik dan tipe mobil yang mengalami penurunan minat konsumen di pasaran.

Showroom XYZ memiliki empat tipe mobil paling dominan dalam penjualan seperti Mobilio, CR-V, Jazz, Brio. Tipe-tipe tersebutlah yang paling sering mengalami tukar tambah oleh konsumen. Tabel 1 menunjukkan jenis dan perpindahan dari tipe satu ke tipe yang lain dalam jangka waktu Maret 2017 sampai dengan Maret 2018.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 1 menunjukkan pola perpindahan pemilihan merek mobil

Merek Mobil	Jumlah Awal	Perolehan	Kehilangan	Jumlah Sekarang
CR-V	35	17	24	28
Mobilio	34	34	22	46
Jazz	19	8	16	11
Brio	12	9	6	15
Total	100	68	68	100

(Sumber : Showroom XYZ)

Thyagarajan (2005) Markov *chains* adalah suatu teknik matematika yang biasa digunakan untuk memperkirakan perubahan-perubahan di waktu yang akan datang dalam variabel dinamis dari variabel di waktu yang lalu. Model markov chains dapat mempreidiksi perubahan dengan memertimbangkan faktor dan sub faktor yang mempengaruhi dari timbulnya gejala (Li Li, 2014). Untuk memperoleh prediksi dalam markov chain, penelitian lebih ditekankan pada parameter perubahan yang paling signifikan (Mukhsin, 2016). Menggunakan model markov chain berarti menyoroti hal yang paling berkontribusi dan yang paling penting dalam aspek perkiraan kinerja (Garrido 2016). Melihat peluang jangka panjang perlu dilakukan analisis secara diskrit dengan melihat kejadian di masa lalu (Adriani, 2017).

Probabilitas yang diperoleh dalam analisis Markov *Chains* akan mengahasilkan gambaran market share pada tiap periode tertentu, angka tersebut secara impelisit akan memberikan rekomendasi sebuah pengetahuan bagi showroom XYZ. Rekomendasi *market share* akan membantu informasi kepada manejer pemasaran untuk melakukan suatu tindakan pengendalian.

2. Metode

a. Memilih Topik Masalah
   Pemilihan topik masalah dengan dukungan kajian literature untuk memperkuat penelitian. Pada tahapan ini penentuan topik tentang analisis pemilihan merek mobil pada showroom XYZ adalah langkah pertama dalam metodologi dalam penenelitian ini.
b. Mencari Sumber Literatur
   Sumber literatur yang sesuai dengan topik yang telah dipilih berfungsi untuk mencari informasi pendukung penulisan penelitian. Sumber tersebut bisa berasal dari buku, jurnal, tulisan ilmiah, dan *website*.
c. Mengumpulkan Data
   Dalam penelitian ini showroom XYZ adalah sebagai objek penelitian sedangkan data yang diambil adalah data 4 merek mobil paling banyak terjual yaitu Mobilio, CR-V, Jazz, Brio. Data tersebut data berupa jumlah pembelian mobil dan jumlah tukar tambah mobil dari merek satu ke merek yang lain.
d. Pengolahan Data
   Dengan terkumpulnya data, dilakukan pembahasan dengan melakukan pengolahan data. Adapun tahapan yang dilakukan untuk mengolah data adalah sebagai berikut:

1. Membuat analisis deskriptif kuantitatif responden terhadap alasan pemilihan merek
2. Membuat tabel perpindahan tipe mobil.
3. Menghitung nilai-nilai dalam matriks peluang transisi dari analisis Markov *chains* yang diperoleh dari tabel perpindahan merek .
4. Analisis risiko perpindahan pemilihan merek mobil.

ISBN 978-602-73461-8-5

3. Hasil dan Pembahasan

3.4. Alasan Pemilihan Tipe Mobil

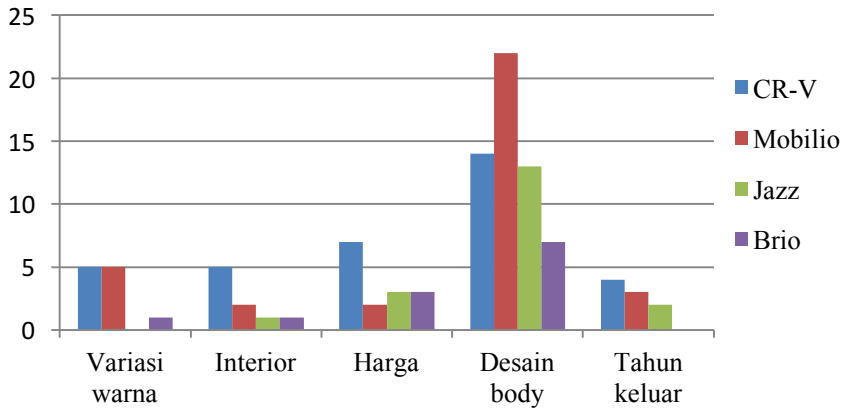
Dari 100 pembeli yang di ambil, dipereloh 5 alasan yag paling sering muncul untuk memilih mobil yang akan dibeli, alasan yang dikemukakan oleh konsumen dalam memilih jenis mobil dapat lihat dalam Tabel.2 berikut.

Tabel .2 Alasan Memilih atau Menukar Mobil

	Variasi warna	Interior	Harga	Desain body	Tahun keluar
CR-V	5	5	7	14	4
Mobilio	5	2	2	22	3
Jazz	-	1	3	13	2
Brio	1	1	3	7	-

(Sumber : Showroom XYZ)

Dari Tabel .2 dibuat gambaran alasan memilih tipe mobil tertentu, gambaran tersebut dibuat dalam bentuk diagram batang yang dapat dilihat pada Gambar.1



Gambar 1. Alasan memilih atau menukar mobil

Gambar 1 diketahui bahwa pembeli banyak menggunakan tipe Mobilio karena desain body yang lebih baik dan harga yang sesuai. Sementara diposisi ke-2 adalah CR-V unggul dalam pilihan interior variasi warna.

3.2. Analisis perpindahan tipe mobil

Dari Tabel 2 dapat dilihat Mobilio adalah merek yang paling diminati saat ini, itu dibuktikan dengan digunakan oleh 46 orang dari 100 konsumen, nilai itu bertambah dari tahun lalu sebanyak 12 pelanggan dari jumlah awal, serta kehilangan sebanyak 22 orang yang berpindah ke merek lain.

Untuk melihat data perolehan dan kehilangan dari setiap jenis merek mobil dapat lihat dalam Tabel 4.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 4 Data perolehan pelanggan pada berbagai merek mobil

Tipe mobil	Perolehan			
	CR-V	**Mobilio**	**Jazz**	**Brio**
CR-V	-	11	4	2
Mobilio	20	-	10	4
Jazz	2	6	-	2
Brio	2	5	2	-
Total	**24**	**22**	**16**	**8**
	Kehilangan			

Dari tabel di atas dapat diketahui merek CR-V memperoleh tambahan 17 yang berasal dari pengguna Mobilio 11 orang, Jazz 4 orang dan Brio ada 2 orang, merek Mobilio mendapat tambahan dari perpindahan konsumen CR-V sebanyak 20 orang, Jazz 10 orang, dan 4 orang dari merek Brio. Merek Jazz Mendapat tambahan dari 2orang konsumen CR-V, 6 Mobilio, 2 dari Brio. Untuk merek Brio dapat tambahan konsumen dari 2 orang CR-V, 5 orang Mobilio, 2 orang Jazz. Selanjutnya dapat dilihat pola perpindahan merek (*Brand Switching*) dari satu merek ke merek lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.

3.3. Analisis Markov *Chains*

Langkah pertama dalam analisis Markov Chain adalah dengan mengidentifikasi nilai *Brand Switching Pattern.*

Tabel 5 Pola perpindahan tipe mobil (*brand switching pattern*)

Dari Tipe	Merek mobil	Ke Tipe				Jumlah akhir
		CR-V	**Mobilio**	**Jazz**	**Brio**	
	CR-V	11	11	4	2	28
	Mobilio	20	12	10	4	46
	Jazz	2	6	3	0	11
	Brio	2	5	2	6	15
	Jumlah awal	35	34	19	12	100

Pengguna CR-V yang saat ini berjumlah 28 orang diperoleh dari 11 orang pengguna tetap, 11 orang Mobilio, 4 orang dari Jazz dan 2 orang dari Brio. Tipe CR-V juga mengalami kehilangan pelanggan yang pindah ke Mobilio sebanyak 20 orang, 2 orang ke Jazz dan 2 orang ke Brio. Pengguna Mobilio yang saat ini berjumlah 46 orang berasal dari 12 orang pengguna tetap, 20 orang dari CR-V, dari Jazz 10 orang dan 4 orang dari Brio. Dan begitu juga dengan merek Jazz dan Brio.

Dari nilai perpindahan dan perolehan di hitung nilai probabilitas transisi, berikut ini perhitungan probabilitas transisi

$$T = \begin{bmatrix} 11/35 & 11/35 & 4/35 & 2/35 \\ 20/34 & 12/34 & 10/34 & 4/34 \\ 2/19 & 6/19 & 3/19 & 0/19 \\ 2/12 & 5/12 & 2/12 & 6/12 \end{bmatrix}$$

ISBN 978-602-73461-8-5

Nilai vektor:

$$x = \begin{bmatrix} 0.35 \\ 0.34 \\ 0.19 \\ 0.12 \end{bmatrix}$$

Tabel 6 Probabilitas transisi

dari merek	Merek mobil	ke merek: CR-V	Mobilio	Jazz	Brio
	CR-V	**0.31**	0.31	0.11	0.058
	Mobilio	0.59	**0.35**	0.3	0.12
	Jazz	0.11	0.32	**0.16**	0
	Brio	0.06	0.15	0.10	**0.5**
	Total	0.17	0.42	0.17	0.5

a. Matriks Probabilitas *Market Share* Mobil

Untuk memproleh market share periode ke-2 dilakukan perhitungan sebagai berikut

$$\begin{pmatrix} 0{,}31 & 0{,}31 & 0{,}11 & 0{,}058 \\ 0{,}59 & 0{,}35 & 0{,}3 & 0{,}12 \\ 0{,}11 & 0{,}32 & 0{,}16 & 0 \\ 0{,}17 & 0{,}42 & 0{,}17 & 0{,}5 \end{pmatrix} \text{x} \begin{pmatrix} 0{,}35 \\ 0{,}34 \\ 0{,}19 \\ 0{,}12 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0{,}23 \\ 0{,}4 \\ 0{,}16 \\ 0{,}21 \end{pmatrix}$$

Dari hasil perkalian antara matriks probabilitas transisi dengan vektor dihasilkan prediksi market share periode ke-2 yaitu CR-V sebesar 23%, Mobilio 40%, Jazz 16%, dan Brio sebesar 21%

b. Prediksi *market share* mobil period ke-3

Setelah *market share* periode ke-2 diperoleh, *market share* periode selanjutnya dihitung dengan mengkuadratkan matriks probabilitas perpindahan.

$$\begin{pmatrix} 0{,}31 & 0{,}31 & 0{,}11 & 0{,}058 \\ 0{,}59 & 0{,}35 & 0{,}3 & 0{,}12 \\ 0{,}11 & 0{,}32 & 0{,}16 & 0 \\ 0{,}17 & 0{,}42 & 0{,}17 & 0{,}5 \end{pmatrix} \text{x} \begin{pmatrix} 0{,}31 & 0{,}31 & 0{,}11 & 0{,}058 \\ 0{,}59 & 0{,}35 & 0{,}3 & 0{,}12 \\ 0{,}11 & 0{,}32 & 0{,}16 & 0 \\ 0{,}17 & 0{,}42 & 0{,}17 & 0{,}5 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 0{,}299 & 0{,}263 & 0{,}153 & 0{,}083 \\ 0{,}438 & 0{,}45 & 0{,}237 & 0{,}136 \\ 0{,}384 & 0{,}195 & 0{,}133 & 0{,}038 \\ 0{,}57 & 0{,}463 & 0{,}256 & 0{,}309 \end{pmatrix}$$

Hasil matriks probabilitas transisi yang telah dikuadratkan sekarang dikalikan dengan *market share* awal (vektor). Hasilnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} 0{,}299 & 0{,}263 & 0{,}153 & 0{,}083 \\ 0{,}438 & 0{,}45 & 0{,}237 & 0{,}136 \\ 0{,}384 & 0{,}195 & 0{,}133 & 0{,}038 \\ 0{,}57 & 0{,}463 & 0{,}256 & 0{,}309 \end{pmatrix} \text{x} \begin{pmatrix} 0{,}35 \\ 0{,}34 \\ 0{,}19 \\ 0{,}12 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0{,}231 \\ 0{,}367 \\ 0{,}229 \\ 0{,}241 \end{pmatrix}$$

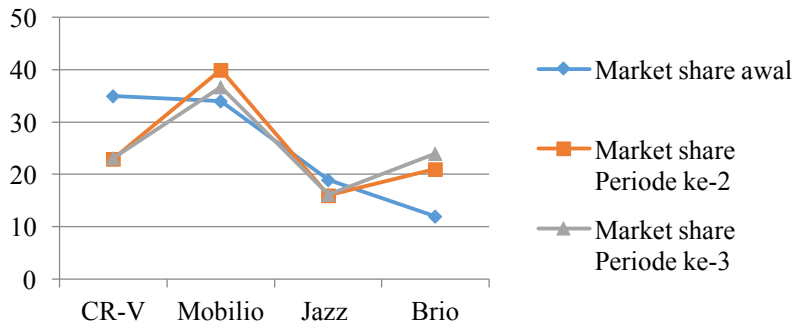
ISBN 978-602-73461-8-5

Hasil perhitungan diatas bisa dilihat prediksi pangsa pasar periode pertama, kedua dan ketiga untuk jenis tipe mobil, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 *Market share* periode awal, ke-2 dan ke-3

Merek mobil	***Market Share* periode awal**	***Market Share* periode ke-2**	***Market Share* periode ke-3**
CR-V	35%	23%	23,1%
Mobilio	34%	40%	36,7%
Jazz	19%	16%	16,2%
Brio	12%	21%	24%

Berdasarkan Tabel.7 dibuat gambaran *market share* awal, *market share* periode ke-2, dan *market share* periode ke-3. Gambaran tersebut lebij jelasnya dapat dilihat pada Gambar.2



Gambar 2. *Digram market share* tipe mobil

Dari Tabel 7 dan Gambar 2 diketahui C-RV sebagai merek yang pada awalnya paling diminati *market share*-nya mengalami penurunan yang cukup signifikan, yang semula pada periode pertama 35% kemudian menjadi 23% pada periode kedua, dan pada periode yang ketiga mengalami sedikit peningkatan sebesar 0.1 menadi 23.1%. Pangsa pasar Mobilio mengalami peningkatan cukup besar, jika *market share* di awal sebesar 34%, pada periode kedua bertambah menjadi 40%, pada periode ketiga mengalami penurunan menjadi 36.7%. Jazz pada periode yang pertama memiliki pangsa pasar 19%, periode yang kedua mengalami penurunan yang cukup besar juga menjadi 16%, dan pada periode ketiga tetap stabil diangka 16.2%. Pangsa pasar Brio secara terus menerus mengalami peningkatan jika pada periode pertama mencapai 12%, pada periode kedua bertambah menjadi 21% dan pada periode ketiga bertambah lagi menjadi 24%.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan tahapan pembahasan dan analisis data dapat disimpulkan sebagai berikut :

a. *Market share* untuk dua periode kedepan masih dipegang oleh Mobilio dengan kenaikan persentase sebesar 6%, di posisi kedua mobil tipe CR-V. Kemudian posisi 3 dan 4 secara berturut-turut di isi oleh merek Brio yang mengalami keanaikan peminat dan yang terahir merek Jazz yang peminatnya stabil.
b. C-RV sebagai merek yang pada awalnya paling diminati diminati ternyata *Market share* menurun, yang semula pada periode pertama 35% kemudian menjadi 23% pada periode kedua.

ISBN 978-602-73461-8-5

c. Tipe mobil Brio satu-satunya tipe yang mengalami peningkatan penjualan dan mengalami peningkatan peminat dari pelanggan mobil tipe lain.

Saran

a. Dalam penelitian selanjutnya, ada baiknya jika disertai dengan perhitungan laba yang diperoleh, untuk melihat jika suatu trend pasar mengalami perubahan, apakah laba juga ikut berdampak signifikan.

Daftar Pustaka

Andriani, M., Firdaniza, Irianingsih, I., 2017, Reliabilitas Suatu Mesin Menggunakan Rantai Markov (Studi Kasus: Mesin Proofer Di Pabrik Roti Super Jam Banten), *Jurnal Matematika Integratif,* Vol. 13 pp.41-47.

Blanchet, J., Gallego, G., Goyal, V., 2016, A Markov Chain Approximation to Choice Modeling, *Journal Operations Research,* Vol. 364 pp. 1-20.

Garrido, P., Lucani, D. 2016, A Markov Chain Model for the Decoding Probability of Sparse Network Coding, *Journal Communication and Information,* Vol. 621 pp. 26-67.

Li Li, Sun, L., Ning, G., 2014, Deterioration Prediction of Urban Bridges on Network Level
Using Markov-Chain Model, *Journal Mathematical,* Vol. 2014 pp. 72-81.

Mukhsin, M., Umbara, F., Rahmawati, A., 2016, Model Prediksi Indeks Harga Saham Di Bursa Efek Indonesia (BEI) Menggunakan Rantai Markov dan Proses Stokastik Fuzzy, *Journal ilmu komputasi,* Vol. 3 pp.3840.

Thyagarajan, V., Maznan, S., 2005, Retail Banking Loan Portfolio Equilibrium Mix: A Markov Chain Model Analysis, *Journal of Applied Sciences,* Vol. 2(1) pp. 410-419.

ISBN 978-602-73461-8-5

Usulan Perbaikan Tata Letak Gudang Barang Jadi PT X menggunakan *Class-Based Storage* berdasarkan Analisis *Entry Item Quantity* (EIQ)

Nirwan Setiawan, Fran Setiawan, Yani Herawati
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan
Jalan Ciumbuleuit No 94, Bandung, 40141
Telp. (022) 2042004
E-mail: fransetiawan@unpar.ac.id

Intisari

*Dalam suatu industri, gudang digunakan untuk menyimpan bahan baku, barang setengah jadi, dan barang jadi. PT X merupakan suatu perusahaan yang memproduksi produk yang terbuat dari seng seperti genteng, seng gelombang, spandex, hollow, dan nok. Permasalahan yang terdapat pada gudang PT X adalah barang jadi yang diletakan secara acak, tumpukan barang jadi terkadang terlalu tinggi dan terdapat tumpukan dua jenis produk yang berbeda sehingga membutuhkan waktu lebih dalam proses pengambilan produk tersebut. Akibatnya, waktu pencarian dan pengambilan produk membutuhkan waktu yang lama sehingga terkadang terjadi keterlambatan pengiriman kepada konsumen. Gudang barang jadi PT X memerlukan suatu perancangan tata letak yang baru agar dapat mengatasi permasalahan yang ada. Usulan perbaikan tata letak gudang yang dirancang menggunakan metode class-based storage. Dalam merancang usulan perbaikan tata letak barang jadi, dirancang suatu rak untuk meningkatkan kapasitas gudang. Terdapat dua tipe rak yang dirancang untuk jenis produk tertentu. Rak tipe 1 yang dirancang terdiri dari 2 level dan digunakan untuk menyimpan genteng, dan nok. Rak tipe 2 yang dirancang terdiri dari 3 level dan digunakan untuk menyimpan seng gelombang dan spandex. Terdapat dua alternatif usulan perbaikan tata letak dengan pembagian kelas menggunakan analisis EIQ (*Entry Item Quantity*) berdasarkan IK (frekuensi pemesanan setiap jenis barang) dan IQ (jumlah barang yang dipesan setiap jenis barang). Usulan perbaikan tata letak gudang berdasarkan IK adalah usulan terpilih dengan total expected distance 321,3 m.*

Kata kunci: tata letak gudang, class-based storage, enter item quantity

1. Pendahuluan

Perancangan tata letak fasilitas sangat berperan penting agar proses produksi di suatu pabrik atau perusahaan dapat berjalan dengan efektif dan efisien. Menurut Tompkins, James, White, Bozer, dan Tanchoco (2010), terdapat beberapa tujuan dilakukannya perancangan fasiltias. Tujuannya adalah meningkatkan kepuasan pelanggan dengan kemudahan berbisnis, menepati janji pelanggan, dan menjawab kebutuhan konsumen, memaksimasi kecepatan dalam menanggapi pelanggan dengan cepat, mengurangi biaya dan meningkatkan keuntungan rantai pasok, menggunakan sumber daya dengan efektif dan lain-lain.

PT X merupakan pabrik yang memproses bahan baku seng menjadi beberapa jenis produk dengan mesin-mesin yang dimiliki. Sebagian produk diproduksi berdasarkan *make to stock* dan sebagian kecil produk diproduksi berdasarkan *make to order*. Berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara dengan *supervisor* dan beberapa pekerja pabrik, terdapat

ISBN 978-602-73461-8-5

permasalahan dalam gudang barang jadi yang dimiliki oleh PT X karena barang jadi langsung diletakan di gudang barang jadi yang kosong.

Lamanya waktu pencarian untuk barang genteng dan spandex karena dalam pencarian terhalang oleh genteng yang berada di depan atau belakang produk yang ingin dicari. Waktu pemindahannya pun menjadi lama karena harus memindahkan barang yang ada di depannya terlebih dahulu dan kejadian tersebut cukup sering terjadi pada gudang. Akibatnya sering terjadi keterlambatan waktu pengiriman kepada konsumenl Sebagai contoh, konsumen memesan pada pukul 14:10. Barang dijanjikan datang pada pukul 14:45, namun tiba di toko pemesan sekitar pukul 14:56. Terjadi keterlambatan sekitar 11 menit dari waktu kedatangan pengiriman yang dijanjikan.

Menurut Engel, Miniard, dan Blackwell (1993) kepuasan konsumen adalah evaluasi setelah menggunakan atau mengkonsumsi produk atau jasa untuk memilih beberapa alternatif dalam rangka memenuhi harapan. Kepuasan konsumen tercapai ketika kualitas memenuhi bahkan melebihi harapan, keinginan dan kebutuhan konsumen. Jika kepuasan ini tidak tercapai, konsumen akan cenderung mencari perusahaan lain untuk memenuhi kebutuhannya. Oleh karena itu, jika perusahaan selalu mendapatkan keluhan dari konsumen, dalam jangka pendek atau panjang dapat mengakibatkan konsumen mencari perusahaan lain untuk memenuhi kebutuhannya.

Pada gudang, terdapat kondisi di mana tumpukan barang jadi memiliki barang yang berbeda jenis pada satu tumpukan. Pada kondisi tumpukan barang yang berbeda jenis, akan membuat waktu proses pengambilan barang menjadi lebih lama. Hal ini dikarenakan operator harus memindahkan terlebih dahulu barang yang terletak di atasnya, kemudian operator baru dapat mengambil barang yang berada pada tumpukan bawahnya. Permasalahan lain yang terjadi pada gudang PT X adalah tidak adanya jarak antar barang jadi sehingga menimbulkan masalah penanganan material bagi pekerja. Terkadang operator dapat melewati gang yang sangat sempit, namun membutuhkan waktu yang lebih lama bagi operator untuk melewati gang yang sempit di antara tumpukan barang jadi.

Masalah lainnya yang terdapat pada gudang barang jadi PT X adalah tumpukan barang yang terlalu tinggi. Ketinggian tumpukan hollow yang diletakan dapat mencapai 2,3 meter. Hal tersebut menyulitkan pekerja untuk mengambil tumpukan paling atas sehingga pekerja memerlukan alat bantu berupa kursi yang terkadang harus diambil terlebih dahulu dari kantor.

Menurut Tompkins et al (2010), terdapat dua metode yang dapat digunakan dalam pengaturan tata letak gudang, yaitu *randomized storage* dan *dedicated storage.* Pada metode *randomized storage,* barang diletakan di area yang kosong, tidak ada tempat pasti untuk meletakan setiap jenis barang yang ada. Kelemahan dari metode tersebut, pekerja membutuhkan waktu yang lebih lama dalam proses pencarian dan pengambilan barang. Metode *dedicated storage*, meletakan barang pada tempat yang telah ditentukan sehingga apabila ada tempat yang kosong maka tempat tersebut tidak dapat diisi oleh jenis barang lain. Kelemahan dari metode ini adalah membutuhkan space yang lebih banyak.

Menurut Francis, McGinnis, dan White (1992) terdapat dua metode lainnya dalam merancang gudang, yaitu *class-based storage* dan *shared storage*. Untuk metode *class-based storage*, merupakan gabungan antara metode *randomized* dan *dedicated storage*. Metode ini membagi produk menjadi kelas-kelas berdasarkan variasi produk yang ada. Metode *shared storage*, memanfaatkan perbedaan lama waktu penyimpanan setiap barang.

Penelitian yang dilakukan akan menggunakan metode *class-based storage* untuk mengatasi permasalahan yang ada. Metode *class-based storage* ini dipilih karena produk yang terdapat di PT X memiliki variasi yang cukup banyak sehingga dapat dibagi menjadi kelas-kelas berdasarkan pengklasifikasian yang dilakukan. Pembagian kelas-kelas dapat dikelompokan dengan menggunakan klasifikasi ABC didalam gudang. Didalam klasifikasi

ISBN 978-602-73461-8-5

ABC, produk-produk dibagi kedalam tiga kelas berdasarkan kecepatan perputaran barang. Barang dengan tingkat perputaran barang tercepat dikategorikan sebagai barang kelas A. Barang dengan tingkat perputaran barang berikutnya dikategorikan sebagai barang kelas B (Chan dan Chan, 2011).

Penentuan klasifikasi ABC dalam metode *class-based storage* ini pun menurut Chan dan Chan (2011) dapat dikelompokan berdasarkan indeks COI (Cube per Order Index) atau analisis EIQ (Entry Item Quantity). Indeks COI dari suatu jenis produk adalah ratio dari total space yang diperlukan dengan jumlah permintaan per periode. Analisis EIQ banyak digunakan oleh para peneliti untuk sistem logistik dan perencanaan distribusi. Analisis EIQ merupakan suatu tools yang efektif untuk merancang gudang.

Analisis EIQ yang digunakan dalam penelitian ini adalah berdasarkan jumlah pesanan dari setiap barang (IQ) dan frekuensi pesanan dari setiap pelanggan (IK). Hasil perancangan gudang berdasarkan pengelompokkan menurut IQ dan IK ini kemudian akan dibandingkan berdasarkan *expected distance* yang dihasilkan. Rancangan gudang terpilih adalah rancangan yang mampu memberikan *expected distance* yang lebih kecil. Menurut Chan dan Chan (2011) jarak perpindahan yang kecil dapat meminimasi waktu yang dibutuhkan dalam proses pengambilan barang.

2. Metode

Metodologi penelitian yang dilakukan pada PT X adalah sebagai berikut

2.1. Studi pendahuluan

Studi pendahuluan dilakukan dengan melakukan observasi langsung terhadap kondisi PT X. Selain melakukan observasi, dilakukan juga wawancara kepada penanggung jawab PT X dan beberapa pegawainya untuk mengetahui proses yang terdapat di dalam pabrik dan masalah-masalah yang terjadi pada objek penelitian.

2.2. Identifikasi dan perumusan masalah

Tahap berikutnya, melakukan identifikasi dan perumusan masalah berdasarkan masalah yang akan diteliti. Masalah yang teridentifikasi pun menjadi rumusan-rumusan masalah yang menjadi dasar tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian yang dilakukan.

2.3. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan informasi mengenai permasalahan yang diteliti dan menentukan metode yang digunakan dalam penelitian. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari artikel, jurnal, dan buku yang berkaitan dengan perancangan tata letak gudang.

2.4. Pengumpulan data

Melakukan pengumpulan data-data yang terkait dengan metode yang akan digunakan untuk menyelesaikan masalah pada objek penelitian yang dilakukan. Data yang dikumpulkan berupa data luas gudang barang jadi, jenis barang yang disimpan, dimensi barang, data stok barang (jumlah yang disimpan untuk setiap *item*) yang akan digunakan untuk menentukan kebutuhan *bay* (area) setiap jenis barang, rekap data barang keluar dan barang masuk yang akan digunakan untuk menentukan probabilitas titik masuk dan titik keluar barang menuju lokasi tertentu.

2.5. Pengolahan data

Setelah semua data diperoleh, maka pada tahap selanjutnya dapat dilakukan pengolahan data. Metode pengaturan tata letak yang akan digunakan adalah *class-based*

ISBN 978-602-73461-8-5

storage. Pengklasifikasian kelas menggunakan analisis EIQ (*Enter Item Quantity*). Untuk menunjang usulan tata letak perbaikan, dirancang rak penyimpanan untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan.

2.6. Analisis dan usulan perbaikan

Pada tahap ini akan dilakukan analisis atas pengolahan data yang dilakukan lalu merancang usulan perbaikan tata letak gudang barang jadi PT X.

2.7. Penarikan kesimpulan dan saran

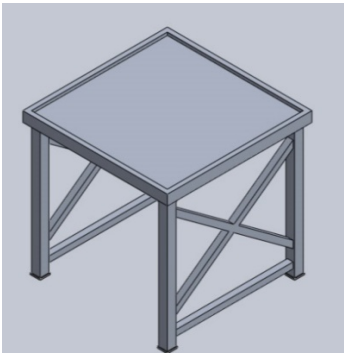
Tahap akhir dari metodologi penelitian ini, dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil yang telah diperoleh dan memberikan saran yang bermanfaat bagi pengembangan penelitian selanjutnya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perancangan desain rak

Rak yang dirancang terbuat dari baja tipe BJ41. (https://www.alibaba.com/showroom/molding-rack.html, diakses pada tangal 7 Desember 2017) Spesifikasi baja tipe BJ 41 memiliki kuat tarik minimum 410 Mpa, kuat leleh minimum 250 Mpa, dan peregangan minimum 18% (SNI 03 – 1729 – 2000). Terdapat dua jenis rak yang dirancang. Rak pertama, dikhususkan untuk menyimpan barang jadi berupa genteng, nok a, nok s, dan nok ratu. Untuk rak kedua, dikhususkan untuk menyimpan seng gelombang dan spandex. Penyimpanan barang jadi hollow tidak memerlukan rak sehingga barang jadi tersebut langsung diletakkan di atas balok kayu yang disediakan. Kedua jenis rak menggunakan bahan baku besi tipe BJ 41. Gambar 1 adalah gambar desain rak pertama yang digunakan untuk menyimpan genteng, nok a, nok s, dan nok ratu. Spesifikasi rak tipe 1 adalah sebagai berikut :

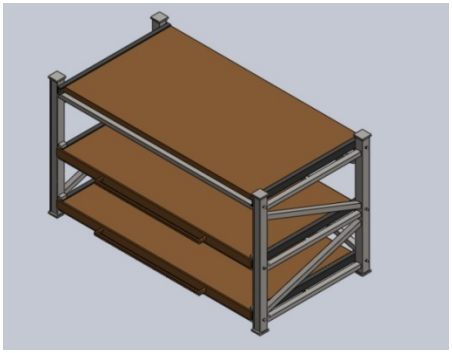
a. Memiliki dua *level* tempat penyimpanan
b. Luas alas pada *level* kedua sebesar 1 m^2 (1 m x 1 m) dengan ketebalan 5 cm.
c. Tinggi antara *level* 1 dan kedua adalah 1 meter
d. Kapasitas *level* 1 sebanyak 1500 unit dan diletakan menggunakan palet beroda dilengkapi dengan penyangga atau pengunci roda. Pada *level* 1 rak, hanya diletakan maksimun dua jenis barang yang berbeda.
e. Kapasitas *level* 2 rak adalah 1000 unit untuk satu jenis barang jadi saja



Gambar 1. Desain rak Tipe 1

Setelah merancang rak tipe 1, berikutnya akan merancang rak tipe kedua yang dikhususkan untuk menyimpan barang jadi berupa spandex dan seng gelombang. Gambar 2. menunjukkan hasil desain rak tipe kedua yang telah dirancang.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 2. Desain rak Tipe 2

Spesifikasi rak tipe kedua adalah sebagai berikut

a. Memiliki tiga *level* atau tiga tingkat penyimpanan
b. Luas alas sebesar 2,2 m x 1,1 m dengan tingkat ketebalan alas sebesar 2 cm
c. Jarak antar *level* sebesar 0,5 m
d. Kapasitas setiap *level* sebanyak 500 unit dan terbatas hanya untuk satu jenis barang jadi saja.
e. Rak tipe 2 dapat disambung ke samping ataupun ke belakang dengan menggunakan siku besi dan sekrup

3.2. Penentuan pengelompokan kelas

Metode yang digunakan dalam merancang usulan perbaikan tata letak gudang barang jadi adalah *class-based storage.* Pembagian kelas berdasarkan klasifikasi ABC dilakukan dengan menggunakan EIQ (*Enter Item Quantity*) *analysis.* Analisis yang digunakan adalah berdasarkan frekuensi pemesanan setiap jenis barang (IK) dan jumlah barang yang pesanan setiap jenis barang (IQ). Nilai IK untuk setiap produk diperoleh dari total frekuensi pemesanan setiap jenis barang selama bulan Januari – Mei 2017, sedangkan nilai IQ diperoleh dari jumlah barang yang dipesan untuk setiap jenis barang selama bulan Januari – Mei 2017. Dalam pengklasifikasian kelas berdasarkan IK dan IQ, setiap produk akan diurutkan dari nilai IK atau IQ terbesar hingga terkecil, kemudian klasifikasi ABC akan dilakukan dengan menentukan batas persentase nilai kumulatif IK atau IQ yang telah ditentukan. Tabel 1 dibawah ini menunjukkan hasil klasifikasi ABC berdasarkan IK.

Tabel 1. Klasifikasi ABC berdasarkan IK

No	Nama Produk	IK	Kum. IK	% Kum. IK	Klasifikasi ABC
1	Genteng Master Merah Carita 0,25	86	86	0,062	A
2	Genteng Klasik *Silver* 0,25	58	144	0,104	A
3	Genteng Klasik Merah Carita 0,25	56	200	0,144	A
4	Spandex Mini 1,8 Merah Carita 0,25	48	248	0,179	A
5	Genteng Master Merah Carita 0,3	46	294	0,212	A
6	Seng Gelombang 1,8 Merah Carita 0,25	46	340	0,245	A
7	Seng Gelombang 1,8 *Silver* 0,25	43	383	0,276	A
8	Spandex Mini 1,8 Merah Carita 0,3	41	424	0,305	A
9	Spandex Besar 1,8 Merah Carita 0,25	40	464	0,334	A
10	Genteng Master Merah Merapi 0,3	37	501	0,361	A
11	Genteng Klasik Merah Merapi 0,25	37	538	0,388	A
12	Spandex Mini 2,1 Merah Carita 0,25	34	572	0,412	A

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Nama Produk	IK	Kum. IK	% Kum. IK	Klasifikasi ABC
13	Genteng Klasik Biru 0,25	33	605	0,436	A
14	Spandex Mini 1,7 Merah Carita 0,25	31	636	0,458	A
15	Genteng Klasik Coklat 0,25	30	666	0,480	A
16	Spandex Mini 1,7 Biru 0,25	30	696	0,501	A
17	Genteng Master Coklat 0,25	29	725	0,522	A
18	Spandex Mini 1,7 Merah Merapi 0,25	29	754	0,543	A
19	Spandex Mini 2,1 Merah Carita 0,3	29	783	0,564	A
20	Genteng Master Merah Merapi 0,25	28	811	0,584	A
21	Genteng Klasik Hitam 0,25	28	839	0,604	B
22	Nok S Biru	28	867	0,625	B
23	Hollow 2 x 4	26	893	0,643	B
24	Hollow 4 x 4	26	919	0,662	B
25	Spandex Mini 1,7 Merah Carita 0,3	26	945	0,681	B
26	Nok Ratu Merah Carita	24	969	0,698	B
27	Genteng Klasik Hijau 0,25	23	992	0,715	B
28	Genteng Klasik Merah Carita 0,3	23	1015	0,731	B
29	Spandex Mini 1,8 Merah Merapi 0,25	23	1038	0,748	B
30	Seng Gelombang 1,8 Merah Carita 0,3	23	1061	0,764	B
31	Spandex Besar 1,8 Biru 0,25	21	1082	0,780	B
32	Seng Gelombang 1,8 Biru 0,25	19	1101	0,793	B
33	Nok S Merah Carita	19	1120	0,807	B
34	Genteng Klasik Abu-Abu 0,25	18	1138	0,820	B
35	Nok Ratu Biru	18	1156	0,833	B
36	Genteng Master Biru 0,25	17	1173	0,845	B
37	Nok Ratu Silver	17	1190	0,857	C
38	Genteng Klasik Silver 0,3	16	1206	0,869	C
39	Spandex Besar 2,1 Merah Carita 0,25	16	1222	0,880	C
40	Seng Gelombang 2,1 Silver 0,3	16	1238	0,892	C
41	Nok A Merah Carita	16	1254	0,903	C
42	Nok A Biru	16	1270	0,915	C
43	Genteng Klasik Merah Merapi 0,3	15	1285	0,926	C
44	Spandex Mini 1,7 Hijau 0,25	15	1300	0,937	C
45	Spandex Mini 1,8 Biru 0,25	15	1315	0,947	C
46	Genteng Master Hijau 0,25	14	1329	0,957	C
47	Seng Gelombang 2,1 Merah Carita 0,3	14	1343	0,968	C
48	Nok Ratu Hijau	13	1356	0,977	C
49	Spandex Mini 1,8 Hijau 0,25	12	1368	0,986	C
50	Spandex Mini 2,1 Biru 0,25	11	1379	0,994	C
51	Seng Gelombang 2,1 Silver 0,25	9	1388	1,000	C

Pembagian bobot klasifikasi ABC yang dilakukan menggunakan analisis EIQ berdasarkan IK adalah 60% nilai kumulatif IK pertama masuk ke dalam kelas A, 25% berikutnya masuk ke dalam kelas B, dan 15% terakhir masuk ke dalam kelas C. Setelah melakukan pengklasifikasian kelas berdasarkan IK, akan dilakukan klasifikasi ABC berdasarkan nilai IQ dengan langkah yang sama. Tabel 2 adalah hasil klasifikasi ABC berdasarkan IQ.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 2. Klasifikasi ABC berdasarkan IQ

No.	Nama Produk	IQ (Unit)	Kum. IQ	% Kum. IQ	Klasifikasi ABC
1	Genteng Master Merah Carita 0,25	92.000	92.000	0,1143	A
2	Hollow 2 x 4	89.000	181.000	0,2249	A
3	Hollow 4 x 4	67.000	248.000	0,3082	A
4	Genteng Klasik Merah Carita 0,25	66.500	314.500	0,3908	A
5	Genteng Klasik *Silver* 0,25	63.500	378.000	0,4697	A
6	Genteng Master Merah Carita 0,3	46.500	424.500	0,5275	A
7	Seng Gelombang 1,8 *Silver* 0,25	32.000	456.500	0,5673	A
8	Seng Gelombang 1,8 Merah Carita 0,25	31.700	488.200	0,6067	A
9	Spandex Mini 1,8 Merah Carita 0,25	29.700	517.900	0,6436	A
10	Nok Ratu Silver	25.500	543.400	0,6753	B
11	Genteng Klasik Biru 0,25	24.500	567.900	0,7057	B
12	Spandex Besar 1,8 Merah Carita 0,25	22.700	590.600	0,7339	B
13	Spandex Mini 1,8 Merah Carita 0,3	20.400	611.000	0,7593	B
14	Spandex Mini 1,7 Merah Carita 0,25	19.000	630.000	0,7829	B
15	Genteng Klasik Coklat 0,25	15.000	645.000	0,8015	B
16	Nok A Merah Carita	15.000	660.000	0,8202	B
17	Genteng Klasik Hitam 0,25	14.300	674.300	0,8379	B
18	Nok Ratu Merah Carita	13.500	687.800	0,8547	B
19	Genteng Klasik Merah Carita 0,3	11.500	699.300	0,8690	B
20	Genteng Master Hijau 0,25	9.000	708.300	0,8802	B
21	Genteng Master Merah Merapi 0,3	9.000	717.300	0,8914	B
22	Nok Ratu Biru	9.000	726.300	0,9025	B
23	Genteng Master Merah Merapi 0,25	7.500	733.800	0,9119	B
24	Genteng Master Coklat 0,25	7.000	740.800	0,9206	B
25	Nok Ratu Hijau	7.000	747.800	0,9293	B
26	Genteng Klasik Merah Merapi 0,25	5.800	753.600	0,9365	B
27	Spandex Mini 2,1 Merah Carita 0,25	5.700	759.300	0,9436	B
28	Spandex Mini 1,7 Merah Carita 0,3	4.800	764.100	0,9495	B
29	Seng Gelombang 1,8 Biru 0,25	4.500	768.600	0,9551	C
30	Spandex Mini 2,1 Merah Carita 0,3	3.700	772.300	0,9597	C
31	Nok A Biru	3.600	775.900	0,9642	C
32	Genteng Klasik Hijau 0,25	3.150	779.050	0,9681	C
33	Spandex Mini 1,7 Merah Merapi 0,25	3.100	782.150	0,9719	C
34	Genteng Klasik Abu-Abu 0,25	2.800	784.950	0,9754	C
35	Genteng Klasik Silver 0,3	2.750	787.700	0,9788	C
36	Seng Gelombang 1,8 Merah Carita 0,3	2.400	790.100	0,9818	C
37	Genteng Klasik Merah Merapi 0,3	2.250	792.350	0,9846	C
38	Genteng Master Biru 0,25	1.600	793.950	0,9866	C
39	Spandex Mini 1,7 Biru 0,25	1.600	795.550	0,9886	C

ISBN 978-602-73461-8-5

No.	Nama Produk	IQ (Unit)	Kum. IQ	% Kum. IQ	Klasifikasi ABC
40	Nok S Biru	1.392	796.942	0,9903	C
41	Spandex Mini 1,8 Merah Merapi 0,25	1.300	798.242	0,9919	C
42	Spandex Besar 1,8 Biru 0,25	1.275	799.517	0,9935	C
43	Spandex Mini 1,8 Biru 0,25	800	800.317	0,9945	C
44	Spandex Mini 1,7 Hijau 0,25	750	801.067	0,9955	C
45	Nok S Merah Carita	708	801.775	0,9963	C
46	Spandex Besar 2,1 Merah Carita 0,25	690	802.465	0,9972	C
47	Spandex Mini 1,8 Hijau 0,25	600	803.065	0,9979	C
48	Spandex Mini 2,1 Biru 0,25	550	803.615	0,9986	C
49	Seng Gelombang 2,1 Merah Carita 0,3	480	804.095	0,9992	C
50	Seng Gelombang 2,1 Silver 0,25	450	804.545	0,9998	C
51	Seng Gelombang 2,1 Silver 0,3	180	804.725	1,0000	C

Pembagian bobot pada klasifikasi ABC berdasarkan IQ berbeda dengan IK. Pada klasifikasi ABC berdasarkan IQ, 65% kumulatif IQ pertama masuk ke dalam kelas A, 30% berikutnya masuk ke dalam kelas B, dan 5% terakhir masuk ke dalam kelas C.

3.3. Penentuan jumlah kebutuhan rak

Setelah membagi semua jenis barang jadi ke dalam tiga kelas, akan ditentukan jumlah rak yang dibutuhkan untuk setiap kelas berdasarkan IK dan IQ. Penentuan jumlah rak yang dibutuhkan sesuai dengan rata-rata jumlah barang jadi yang disimpan per hari. Perhitungan pada jumlah kebutuhan rak, dilakukan dengan cara memasukkan data rata-rata stok barang yang tersedia untuk setiap jenis barang ke dalam tipe rak sesuai dengan kapasitas tersedia pada setiap *level* yang dimiliki setiap rak. Jumlah rak akan ditentukan berdasarkan IK dan berdasarkan IQ.

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan IK, kebutuhan rak yang diperoleh untuk tipe 1 adalah 13 unit dan rak tipe 2 sebanyak 15 unit. Untuk kelas A, dibutuhkan 7 unit rak tipe 1 dan 9 unit rak tipe 2. Untuk kelas B, membutuhkan 3 unit rak tipe 1, dan 3 unit rak tipe 2. Terakhir, pada kelas C membutuhkan 3 unit rak tipe 1 dan 3 unit rak tipe 2. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan IQ diperoleh jumlah rak yang sama dengan perhitungan menggunakan IK yaitu 13 unit rak tipe 1 dan 15 unit rak tipe 2. Untuk kelas A membutuhkan 5 unit rak tipe 1 dan 4 unit rak tipe 2, sedangkan untuk kelas B membutuhkan 5 unit rak tipe 1 dan 5 unit rak tipe 2. Untuk kelas C membutuhkan 3 unit rak tipe 1 dan 6 unit rak tipe 2.

Setelah diketahui jumlah rak yang dibutuhkan, akan dihitung luas yang dibutuhkan untuk menyimpan barang jadi yang ada. Tinggi tumpukan hollow maksimal yang disusun adalah 1,6 m. Tabel 3 menujukkan luas yang dibutuhkan untuk menyimpan barang jadi.

ISBN 978-602-73461-8-5

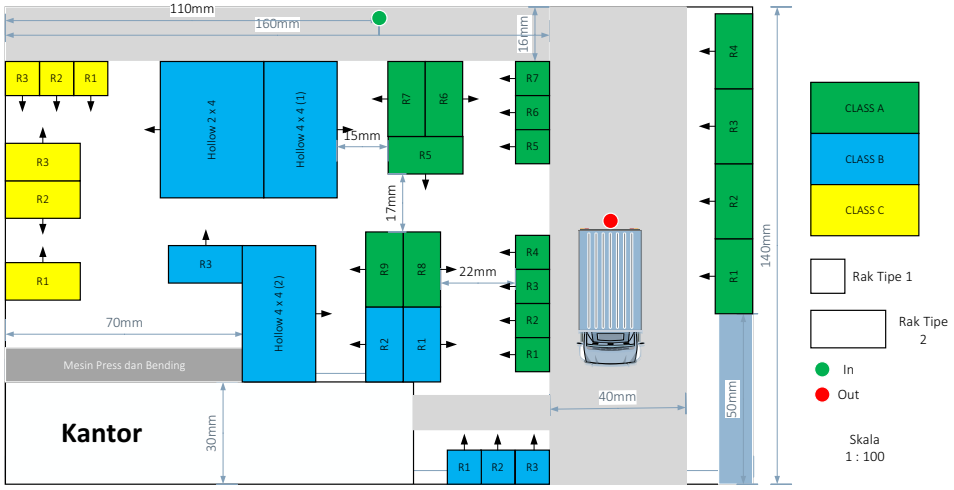
Tabel 3. Rekapitulasi Kebutuhan Luas Gudang Barang Jadi Usulan

Jenis Produk	Tempat Penyimpanan	Jumlah	Luas Tempat Penyimpanan (m^2)	Luas yang Dibutuhkan (m^2)
Hollow 2 x 4	*Bay*	19	0,64	12,16
Hollow 4 x 4	*Bay*	27	0,64	17,28
Spandex, Seng Gelombang	Rak Tipe 2	15	2,42	36,3
Genteng Master, Genteng Klasik, Nok A, Nok S, Nok Ratu	Rak Tipe 1	13	1	13
Total				**78,74**

Total luas area yang dibutuhkan untuk menyimpan barang adalah 78,74 m^2 sebelum adanya penambahan luas untuk kebutuhan pergerakan *material handling*. Sedangkan area yang tersedia sebesar 220 m^2 sehingga area yang tersedia dapat mencukupi kebutuhan luas yang diperlukan.

3.4. Perancangan usulan tata letak gudang barang jadi

Berdasarkan area gudang barang jadi yang tersedia, akan dirancang usulan tata letak gudang dengan menggunakan kedua jenis tipe rak yang telah dirancang. Terdapat dua usulan tata letak gudang yang dirancang, yaitu berdasarkan IK (frekuensi pemesanan setiap barang) dan IQ (jumlah pesanan setiap barang). Perancangan tata letak dilakukan dengan cara meletakan setiap jenis rak sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan, menghitung *expected distance* dari setiap rak, kemudian dilakukan penugasan dengan memprioritaskan kelas A terlebih dahulu, kemudian kelas B, dan terakhir kelas C berdasarkan jarak yang terkecil. Gambar 3 merupakan hasil usulan tata letak gudang berdasarkan IK.



Gambar 3. Usulan tata letak gudang barang jadi berdasarkan ik

Berdasarkan Gambar 3 diatas, *expected distance* akan dihitung dengan mengalikan probabilitas perpindahan dari masing-masing rak menuju titik masuk dan keluarnya barang dengan jarak perpindahan dari masing-masing rak menuju titik masuk dan keluarnya barang. Perhitungan jarak menggunakan metode *flow path*. Probabilitas perpindahan dari

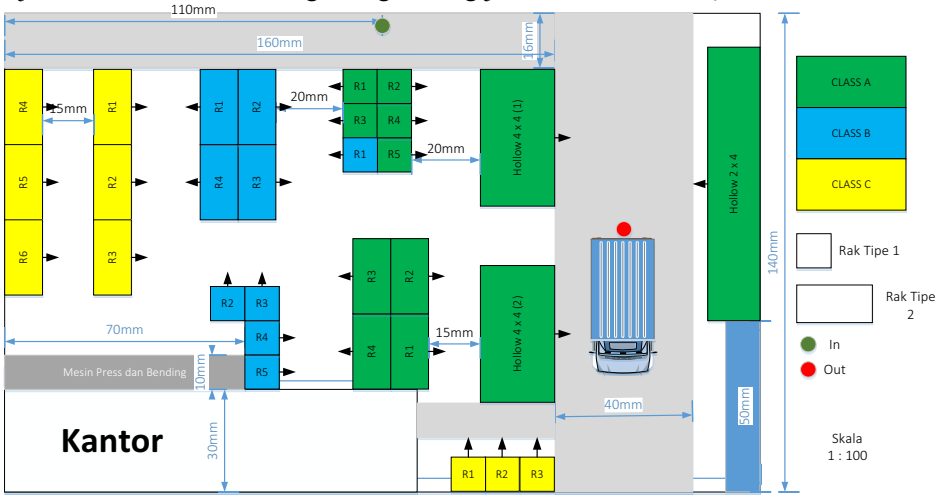
ISBN 978-602-73461-8-5

masing-masing rak menuju titik masuk dan keluarnya barang masing-masing sebesar 0,5, Hal ini ditentukan berdasarkan jumlah frekuensi masuk dan keluar adalah 9786 dan 9751 dan dapat dilihat hanya memiliki perbedaan yang kecil di antara frekuensi masuk dan keluar. Tabel 4 merupakan hasil perhitungan jarak *flow path* untuk barang jadi pada usulan tata letak berdasarkan IK.

Tabel 4. Perhitungan *expected distance* untuk usulan perancangan berdasarkan IK

Tempat Penyimpanan	Total Jarak Masuk (meter)	Total Jarak Keluar (meter)	Total *Expected Distance* (meter)
Rak	311,327	270,39	290,9
Non-Rak	23,527	37,27	30,3985
Total	334,854	307,66	321,3

Usulan tata letak gudang kedua, dibuat berdasarkan IQ. Jumlah rak yang dibutuhkan sama dengan IK, namun jumlah rak untuk setiap kelasnya berbeda. Gambar 4 dibawah ini menunjukkan usulan tata letak gudang barang jadi berdasarkan IQ.



Gambar 4. Usulan tata letak gudang barang jadi berdasarkan IQ

Dari hasil rancangan usulan tata letak gudang berdasarkan IQ, akan dihitung kembali expected distance untuk barang jadi pada usulan tata letak berdasarkan IQ. Perhitungan ini dapat dilihat pada Tabel 5 dibawah ini

Tabel 5. perhitungan *expected distance* untuk usulan perancangan berdasarkan IQ

Tempat Penyimpanan	Total Jarak Masuk (meter)	Total Jarak Keluar (meter)	Total *Expected Distance* (meter)
Rak	261,235	347,73	304,4825
Non-Rak	36,25	11,79	24,02
Total	297,485	359,52	328,5025

Total *expected distance* untuk usulan perbaikan tata letak berdasarkan IK sebesar 321,3 m lebih kecil daripada usulan perbaikan berdasarkan IQ dengan total *expected distance*

ISBN 978-602-73461-8-5

328,5025 m. Dengan demikian, usulan perbaikan tata letak gudang yang dipilih adalah usulan perbaikan tata letak berdasarkan IK.

4. Kesimpulan dan Saran

Usulan perbaikan tata letak gudang barang jadi PT X menggunakan metode *class-based storage*. Terdapat satu usulan yang terpilih dari dua alternatif yang ada, yaitu usulan tata letak gudang dengan pembagian kelas berdasarkan IK dengan total *expected distance* yang dihasilkan sebesar 321,3 m

Hasil evaluasi usulan tata letak gudang yang terpilih adalah usulan tata letak gudang terpilih dapat memberikan prosedur penyimpanan untuk setiap jenis barang harus diletakan di area yang telah ditentukan kelasnya. Desain rak yang dirancang dapat diterapkan oleh perusahaan untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan dan jalur perpindahan pekerja serta sistem pengambilan barang telah dirancang agar jarak yang ditempuh operator seminimum mungkin.

Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode klasfikasi yang lain seperti pembagian kelas berdasarkan jenis barang, konsumen, atau klasifikasi ABC dengan analisis lain. Untuk analisis lebih lanjut mengenai alternatif hasil rancangan usulan tata letak dapat dilakukan simulasi.

Daftar Pustaka

Chan, F. T. S., dan Chan, H.K., 2011, Improving the productivity of order picking of a manual pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage*, Expert Systems with Applications,* vol 38 (2686-2700).

Engel, J. F., Miniard, P. W., dan Blackwell, R. D., 1993, *Consumer Behavior 7th Edition*. Forth Worth, The Dryden Press.

Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., dan Tanchoco, J. M. A., 2010, *Facilities Planning 4th Edition,* New York, John Willey & Sons, Inc.

Francis, R. L., McGinnis Jr, F., dan White, J. A., 1992, *Facility Layout and Location, An Analytical Approach, 2nd Edition.,* New Jersey, Prentice Hall.

ISBN 978-602-73461-8-5

Perancangan Database Berbasis Google Sheets untuk Penilaian *Performance Indicator* Mata Kuliah Berstandar ABET (Studi Kasus Mata Kuliah S1 Teknik Industri UGM)

Qonita Haula Kinanti, I G. B. Budi Dharma*
Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2, Kampus UGM, Sinduadi, Mlati, Kabupaten Sleman, Yogyakarta
*E-mail: budi.dharma@ugm.ac.id

Intisari

Kebutuhan terhadap database di bidang akademik salah satunya adalah untuk mempermudah penyusunan dokumen untuk akreditasi program studi di universitas. Salah satunya, proses akreditasi internasional oleh Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET) membutuhkan pendokumentasian Student Outcomes (SO) dan Performance Indikator (PI) dari setiap mata kuliah. Dari tahun ke tahun, kebutuhan akreditasi yang terus berkembang membutuhkan database yang juga mudah untuk dikembangkan. Perkembangan cloud sharing dan cloud storage, salah satunya Google Sheets menawarkan potensi untuk kembangkan menjadi suatu database yang lebih mudah dipahami dan dikembangkan karena berbasis spreadsheets. Oleh karena itu, dikembangkan suatu database menggunakan Google Sheets dengan kasus akreditasi ABET di Program Studi Teknik Industri (PSTI) UGM. Entity Relationship Diagram (ERD) dibangun untuk memetakan entitas dan hubungan antar entitas sesuai dengan kebutuhan. Produk G Suite khususnya Google Sheets, Google Docs, dan Google Data Studio digunakan sebagai tool perancangan database. Verifikasi dan validasi dilakukan dengan membandingkan output nilai performance indicator hasil perhitungan dari Google Sheets dengan output nilai performance indicator dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, serta dengan membandingkan hasil relationship antar entitas. Database untuk kebutuhan ABET berhasil dikembangkan yang membutuhkan 3 (tiga) file Google Sheets utama, yaitu pertama adalah file untuk menyimpan tabel database utama, kedua adalah file sebagai template yang akan diduplikasi dan dikirimkan kepada dosen untuk melakukan perhitungan nilai, dan ketiga adalah file berisi rekap nilai dari seluruh file yang dimiliki dosen-dosen. Sistem database ini juga menghasilkan beberapa file Google Docs seperti portofolio mata kuliah, Rencana Kegiatan Pembelajaran Semester (RPKPS), JMFT, dan template soal ujian. Google Data Studio digunakan untuk menampilkan laporan perkembangan nilai performance indicator mata kuliah setiap tahunnya.

Kata kunci: Akreditasi akademik ABET, database, G Suite, Google Sheets, Google Docs, Google Data Studio

1. Pendahuluan

Proses akreditasi akademik program studi dapat dilakukan oleh lembaga akreditasi yang berbeda-beda. Contohnya di Program Studi Teknik Industri (PSTI) UGM, akreditasi telah dilakukan oleh beberapa lembaga atara lain: Badan Akreditasi Nasional – Perguruan Tinggi (BAN-PT), ASEAN University Network – Quality Assurance (AUN-QA), dan Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET). Proses akreditasi ini akan terus berkembang dari waktu ke waktu karena institusi pemberi akreditasi dapat mengubah

ISBN 978-602-73461-8-5

dan mengembangkan kriteria serta dokumen akreditasinya sesuai dengan kebutuhan profesional di masa mendatang (Essa, 2010). ABET sendiri, sedikit berbeda dengan akreditasi yang lain, membutuhkan pendokumentasian Student Outcomes (SO) dan Performance Indikator (PI) dari setiap mata kuliah (ABET, 2016). Oleh karena itu, di pihak program studi sendiri, diperlukan *database* yang fleksibel dan mudah dikembangkan sehingga segala perubahan kebutuhan kriteria dan dokumen di masa mendatang lebih mudah untuk dipenuhi.

Aplikasi berbasis website dengan bahasa pemrograman Java atau *database* Oracle untuk mengevaluasi performa di bidang akademik telah dilakukan oleh banyak institusi, beberapa di antaranya dilakukan oleh McGourty, et al (2002) dari Columbia University, Essa (2010) dari University of Nevada, Booth, et al (2007) dari Clayton State University, Amerika Serikat, Kerr (2011) di Dalhousie University, dan Sukamto, et al (2016).

Selain itu, banyak software komersial yang sering digunakan untuk melakukan evaluasi di bidang akademik. Software tersebut antara lain SmartEvals, (2013) dan Taskstream (2014). Software tersebut memiliki banyak fitur, yang terkadang tidak dibutuhkan oleh fakultas atau program studi yang menggunakannya. Kostar, et al (2014) menyebutkan bahwa software ini terlalu berlebihan jika fakultas hanya menginginkan *software* yang mudah dan sederhana untuk melakukan penilaian. Oleh karena itu, banyak universitas terutama di Amerika Serikat yang sudah mengembangkan alat penilaian menurut versi mereka sendiri yang mudah dikustomisasi sesuai kebutuhan masing-masing universitas. McGourty, et al 2002 mengembangkan sistem evaluasi mata kuliah secara keseluruhan, dimana salah satu bagiannya adalah aplikasi berbasis website yang memungkinkan program studi untuk mengadakan survei kepada mahasiswa mengenai tujuan dan pencapaian dari sebuah mata kuliah.

Saat ini, teknologi sistem informasi yang semakin berkembang khususnya pada bidang *cloud storage* dan *online collaboration* memudahkan pengembang khususnya program studi untuk membangun database. Salah satu platform yang sedang berkembang saat ini adalah produk dari Google khususnya Google Sheets dengan basis spreadsheet. Ide untuk mengembangkan database berbasis spreadsheet karena adanya kesamaan antara *Database Management System* (DBMS) yang menggunakan konsep tabel dengan prinsip spreadsheets yang memang berbentuk tabel. Oleh karena itu, dilakukan perancangan sebuah database berbasis cloud menggunakan Google Sheets untuk memasukkan, mengolah, dan menyimpan data-data perkuliahan serta nilai mahasiswa yang digunakan untuk menghasilkan dokumen portofolio mata kuliah berstandar ABET.

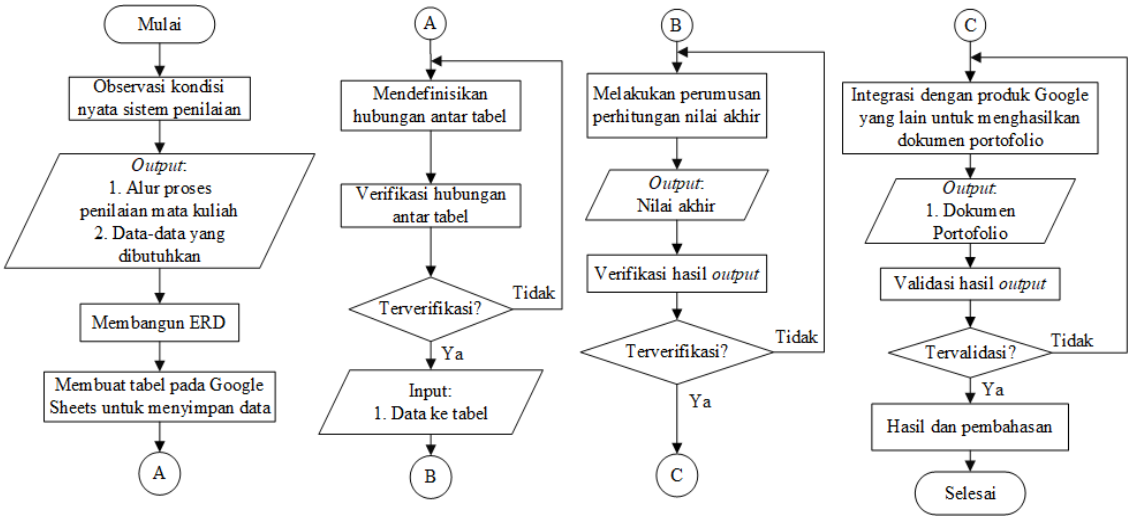
2. Metode

Database berbasis spreadsheet ini dibangun dengan empat tahapan utama, yaitu:

1. Observasi kondisi nyata sistem penilaian mata kuliah dan membangun Entity Relationship Diagram (ERD). Tahapan ini berfungsi untuk mengidentifikasi jumlah kebutuhan tabel dan data-data yag dibutuhkan dalam database.
2. Membangun *database*. Tahapan ini mencakup pembuatan tabel, entitas, dan hubungan antar tabel, serta memasukkan data. Setiap tabel yang dibuat dapat berupa file spreadsheet terpisah maupun beberapa sheet di dalam suatu file spreadsheet.
3. Verifikasi yang dilakukan iteratif pada setiap proses perancangan. Salah satu contohnya adalah verifikasi hubungan antar tabel dan *referential integrity* data.
4. Validasi yang dilakukan melalui dosen-dosen pengampu mata kuliah di PSTI.

Gambar 1 menunjukkan diagram alir tahapan lebih detail dalam merancang database dengan menggunakan Google Sheets.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 1. Diagram alir tahapan perancangan database

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Observasi

Observasi yang dilakukan pada penilaian mata kuliah yang sudah berjalan di PSTI menunjukkan bahwa ada dua hal utama yang harus ada dalam sebuah database akreditasi akademik di PSTI UGM, yaitu:

a. Portofolio Mata Kuliah
   Portofolio merupakan dokumen yang dibuat pada akhir semester oleh setiap dosen pengampu mata kuliah yang berisi identitas mata kuliah, Rencana Kegiatan Pembelajaran Mata Kuliah, serta c*ourse assessment* berisi nilai mahasiswa, capaian rubrik untuk setiap Student Outcome (SO) dan Performance Indicator (PI) mata kuliah tersebut.
b. Laporan Mata Kuliah
   Dalam hal ini, laporan yang dilengkapi grafik yang menunjukkan pencapaian SO dan PI tiap mata kuliah untuk semua tahun ajaran yang telah dilangsungkan. Dengan begitu dapat terlihat peningkatan atau penurunan performa mata kuliah tersebut.

3.2. Entity Relationship Diagram (ERD) dan File Google Sheets

Dari hasil observasi diketahui kebutuhan tabel dan data-data yang dibutuhkan, sehingga dibuat ERD yang menunjukkan entitas yang terlibat dalam pembangunan database serta bagaimana entitas tersebut terhubung satu sama lainnya. ERD yang telah dibangun dapat dilihat pada Gambar 2 dan akan dijadikan acuan dalam membangun database.

File Google Sheets utama yang dihasilkan berdasarkan ERD tersebut adalah:

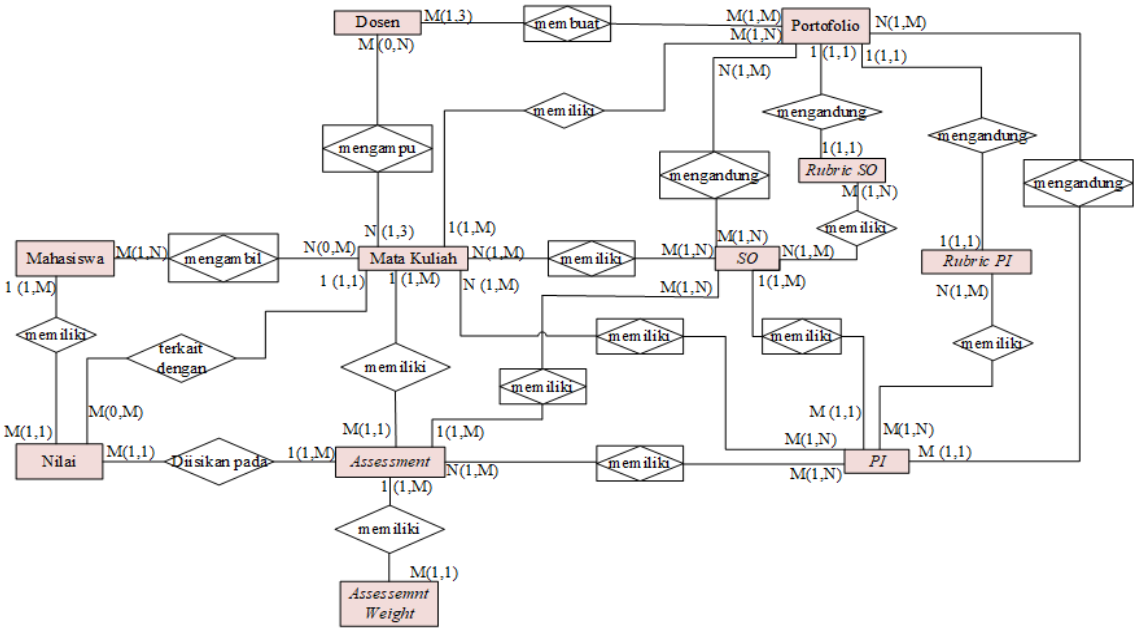
a. File Database Utama yang berisi data mahasiswa, mata kuliah, dosen, SO, dan PI. File ini akan disimpan dan diperbaharui setiap semester oleh administrator.
b. File Penilaian Mata Kuliah yang berisi rubrik SO dan PI, jenis penilaian yang terdapat pada mata kuliah beserta bobotnya, nilai mahasiswa untuk setiap SO dan PI, serta draft portofolio mata kuliah.

3.3. Formula pemanggilan data

File Penilaian Mata Kuliah dibuat sebanyak kombinasi antara mata kuliah dan dosen pengampunya. Setiap dosen diberikan akses untuk mengedit file Penilaian Mata Kuliah,

ISBN 978-602-73461-8-5

sehingga diperlukan metode untuk mengambil data dan menggabungkan informasi dari setiap file tersebut menjadi satu.



Gambar 2. Entity Relationship Diagram

Ada dua cara yang disediakan Google Sheets untuk melakukan pemanggilan data pada file yang sama atau file yang berbeda, yaitu:

a. Formula standar pada Google Sheets

1. INDEX dan MATCH

Kombinasi INDEX dan MATCH digunakan untuk memanggil satu data yang terkait dengan satu data yang lain yang berada di dalam satu Google Sheets yang sama. Contoh penggunaan formula ditunjukkan pada Persamaan 1.

```
=iferror(index(MAKUL!$A$2:$A;match(C3;MAKUL!$B$2:$B;0));"").....(1)
```

2. QUERY dan IMPORTRANGE

QUERY dan/atau IMPORTRANGE dapat digunakan untuk memanggil satu atau sekumpulan data dari Google Sheets yang sama maupun yang berbeda. Contoh penggunaan formula yang digunakan untuk memanggil data dari sumber yang berbeda terlihat pada Persamaan 2.

```
=unique(QUERY(IMPORTRANGE("https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Zxp42HPDoBxHSIj0fN87GfHZraWcQT77-zTqjeFhInA/edit#gid=9455 52070";"MAKUL/SO-PI!A:D");"SELECT Col3 where Col1 contains '"&B5&"'";-1)).....(2)
```


ISBN 978-602-73461-8-5

b. Google App Script

Google App Script digunakan untuk membuat fungsi yang *custom* sesuai dengan kebutuhan yang spesifik, misalnya mengotomasi pemindahan seluruh nilai mata kuliah dari banyak file Google Sheets yang berbeda ke satu file Google Sheets yang sama.

3.4. Menjaga integritas data

Ada banyak perpindahan informasi dan data dari satu file Google Sheets ke file Google Sheets yang lain. Oleh karena itu, upaya untuk menjaga integritas data dilakukan dengan cara sebagai berikut:

a. Penggunaan *conditional formatting* untuk memberi peringatan duplikasi *primary key* dan sel yang masih kosong. Duplikasi dihindari karena dapat menyebabkan ketidakakuratan data. Selain itu, *null value* atau sel kosong yang belum terisi dapat menyebabkan kesalahan pada perhitungan. Contoh penggunaan *conditional formattting* ada pada Gambar 3.

b. Penggunaan *Dropdown Menu. Dropdown menu* dapat memberikan informasi apa saja yang dapat dimasukkan pada suatu sel. Hal ini dilakukan untuk menjaga *referential integrity* antar kedua tabel yang berhubungan. Contohnya ada pada Gambar 4.

	A	B
1	NIM	NAMA
2	14/363229/TK/41409	[redacted]
3	14/363273/TK/41436	[redacted]
4	14/363395/TK/41522	[redacted]
5	14/363395/TK/41522	[redacted]
6	14/363475/TK/41592	[redacted]

Gambar 3. Fitur Conditional Formatting

	A	B	
1	TAHUN AJARAN	MATA KULIAH	NIM
2	GANJIL 2016/2017	Simulasi Sistem	14/3632
3	GANJIL 2016/2017	Simulasi Sistem	14/3633
4	GANJIL 2016/2017	Simulasi Sistem	14/3634
5	GANJIL 2016/2017	Simulasi Sistem	4/3635
6	GANJIL 2016/2017	Praktikum Simulasi Sistem	4/3635
7	GANJIL 2016/2017	Teori Keputusan	4/3635
8	GANJIL 2016/2017	Teknik Rantai Pasok	4/3635
9	GANJIL 2016/2017	Statistika Teknik Industri 2	4/3635
		Statistika Teknik Industri 1	

Gambar 4. Dropdown menu

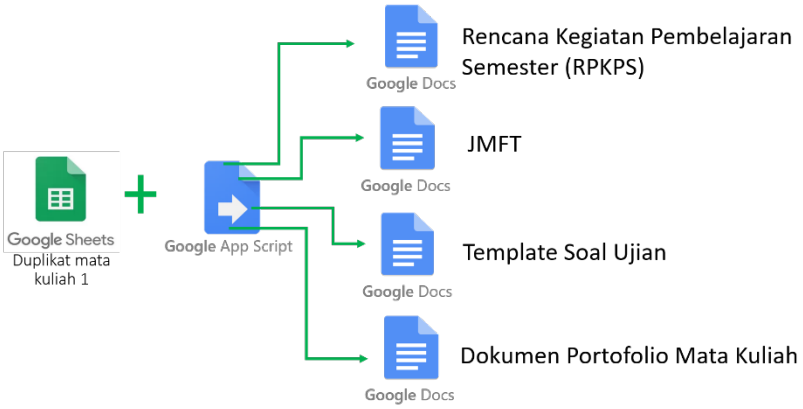
3.5. Google App Script

Untuk menghasilkan format dokumen yang sesuai dengan kebutuhan ABET, maka digunakan Google App Script. Dalam hal ini dibuat script untuk menghasilkan dokumen secara otomatis berupa file Google Docs berdasarkan data-data yang sudah dimasukkan pada Google Sheets. Dokumen yang dibutuhkan adalah dokumen Rencana Kegiatan Pembelajaran Semester (RPKPS), dokumen JMFT, Template header soal ujian, dan dokumen portofolio mata kuliah. Ilustrasi mengenai fungsi Google App Script dijabarkan pada Gambar 5.

Tabel-tabel dalam Google Sheets yang dibutuhkan untuk menghasilkan dokumen-dokumen tersebut adalah:

ISBN 978-602-73461-8-5

1. Tabel capaian pembelajaran,
2. Tabel rubrik penilaian,
3. Tabel komponen penilaian,
4. Tabel rubrik SO dan PI (*course assessment*),
5. Tabel rencana penilaian.

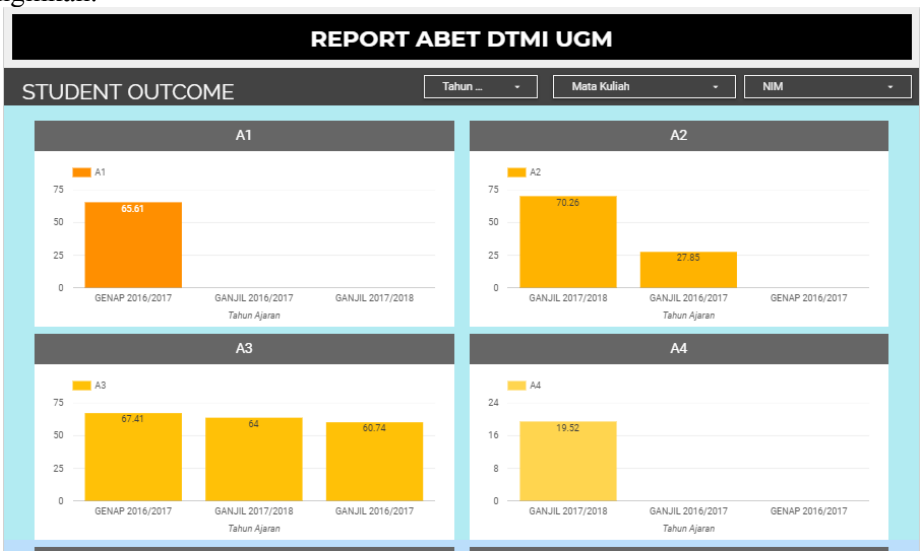


Gambar 5. Ilustrasi pembuatan *file Google Docs*

3.6. Integrasi dengan Google Data Studio

Pada kasus ABET PSTI ini, Google Data Studio digunakan untuk menampilkan dashboard yang berisi grafik laporan nilai student outcome dan performance indicator setiap tahunnya. Dengan adanya dashboard, dapat dilihat peningkatan atau penurunan nilai SO dan PI sehingga evaluasi mata kuliah dapat dilakukan dengan lebih mudah. Tampilan dashboard Data Studio diilustrasikan pada Gambar 7.

Data yang digunakan sebagai sumber dashboard ini adalah file Rekap Penilaian. Informasi yang disampaikan adalah rata-rata nilai SO dan PI setiap tahunnya untuk semua mata kuliah. Dapat dilakukan filter untuk mata kuliah, tahun ajaran, dan NIM mahasiswa jika diinginkan.



Gambar 7. *Dashboard Google Data Studio Report* ABET DTMI UGM

ISBN 978-602-73461-8-5

3.7. Verifikasi dan Validasi Database

Verifikasi dilakukan dua kali, yaitu:

a. Verifikasi hubungan antar tabel: membandingkan output hasil pemanggilan data dengan tabel dari file Database Utama.
b. Verifikasi hasil perhitungan nilai akhir SO dan PI: membandingkan nilai SO dan PI yang dihasilkan dari perhitungan Google Sheets dengan nilai yang dihasilkan dengan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya.

Validasi dilakukan melalui dosen yang secara langsung sebagai user dalam prosees menginput data mata kuliah dan nilai mahasiswa. Database beserta alur penggunaannya ditunjukkan kepada user, lalu diperoleh tanggapan berupa saran serta tambahan fitur-fitur untuk perbaikan database.

3.8. Keunggulan dan Keterbatasan

Keunggulan pengembangan database berbasis Google Sheets ini adalah:

1. Tidak memerlukan server, perawatan maupun upgrade server untuk menyimpan data. Data disimpan langsung pada server Google.
2. Tidak memerlukan instalasi software tertentu oleh pengguna.
3. Sampai saat makalah ini ditulis, produk-produk Google dapat digunakan secara gratis.
4. Sinkronisasi online sehingga perubahan data dapat dilihat secara real time.
5. Dapat digunakan secara offline, kemudian file akan otomatis tersinkronisasi kembali ketika online.
6. Potensi untuk dintegrasikan dengan produk-produk Google yang lain

Namun demikian, terdapat keterbatasan yaitu adanya keterbatasan jumlah sel untuk setiap file Google Sheets sejumlah 2 juta sel. Dengan jumlah tersebut, database dapat digunakan selama 5 tahun. Untuk mengatasi hal tersebut, setelah 5 tahun file Rekap Penilaian harus diganti dengan file yang baru.

4. Kesimpulan dan Saran

Google Sheets dapat digunakan sebagai database dalam kasus akreditasi ABET di Program Studi Teknik Industri UGM dengan kemampuan memasukkan, mengolah, dan menyimpan penilaian mata kuliah. Ada 3 file Google Sheets yang dihasilkan, yaitu file Database Utama untuk menyimpan data, file Penilaian Mata Kuliah sebagai media perhitungan nilai untuk dosen, dan file Rekap Penilaian untuk mengakumulasi penilaian semua nilai mata kuliah.

Kombinasi produk-produk Google (G Suite) dapat digunakan untuk menghasilkan dokumen portofolio mata kuliah dari database tersebut serta menghasilkan online report capaian SO dan PI mata kuliah. Selain itu, database dengan Google Sheets memiliki potensi untuk pengembangan lebih lanjut dengan memanfaatkan fungsi yang disediakan produk-produk G Suite lainnya.

Daftar Pustaka

ABET, 2016, *Criteria for Accrediting Engineering Programs 2016 – 2017*, http://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-programs-2016-2017/ (Online Accessed November 24th 2017))

Booth, L., Preston, J., dan Qu, J., 2007, *Continuous Program Improvement: A Project to Automate Record-keeping for Accreditation*, SIGITE Conference on Information Technology Education, New York, USA, pp. 155-160.

Essa, E., Dittrich, A., Dascalu, S., dan Harris, F. C., 2010, *ACAT: A Web-based Software Tool to Facilitate Course Assessment for ABET Accreditation*, 2010 Seventh

ISBN 978-602-73461-8-5

International Conference on Information Technology: New Generations, Las Vegas, USA, pp. 88-93.

Kerr, B., 2011, *Using a Web-based Assessment Tool for Accreditation and Program Improvement*, 14th International Conference on Interactive Collaborative Learning September, Piestany, Slovakia, pp. 534–538.

Kostar, T., Mauquis, L., dan Bertozzi, N., 2014, *On the Development of an Automated Course Assessment Tool (ACAT)*, 69th EDGD Midyear Conference, Illinois, USA pp. 94-107

McGourty, J., Shuman, L., Besterfield-Sacre, M., Atman, C., Miller, R., Olds, B., Rogers, G., dan Wolfe, H. 2002. *Preparing For Abet EC 2000: Research-Based Assessment Methods and Processes*, International Journal of Engineering Education, Vol. 18, No. 2, pp. 157-167.

SmartEvals, 2013, *Online Course Evaluation*. http://info.smartevals.com/ (Online Accessed December 1st 2017)

Sukamto, T.S., Nugroho, L. E., Winarno, W. W., 2016, *Desain Sistem Informasi Akreditas Program Studi Berbasis Website di Indonesia*, Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATi) 2016, Yogyakarta, Indonesia, pp. 34-40

Taskstream, 2014, *Flexible Solutions for Programs & Departments*, https://www1.taskstream.com/who-we-serve/departments-programs (Online Accessed December 1st 2017)

ISBN 978-602-73461-8-5

Kajian Awal Analisis Faktor Kelulusan Mahasiswa dengan *Artificial Neural Network*

Rizky Syahrani Andrifa, Andi Rahadiyan Wijaya
Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No.2, Kampus UGM, Yogyakarta 5581
Telp. 085296181130
E-mail: rizkysyahrani@gmail.com

Intisari

Melihat potensi yang cukup besar terhadap data akademik dan kebutuhan institusi pendidikan untuk meningkatkan kualitas pendidikan maka dilakukan penelitian ini. Kenyataan yang ada dan yang diakui bahwa pada umunya kemampuan siswa yang tercermin dalam nilai akhir serta lama studi. Namun untuk pengikatan kualitas akademik terutama kualitas lulusan sebuah institusi juga memiliki keinginan bisa mengetahui prediksi lebih awal bagaimana kinerja sebenarnya selama siswa menempuh kuliah Secara umum kajian awal penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik kelompok siswa yang ada dengan menggunakan data akademik. Untuk melihat jumlah dan kelompok siswa yang terbentuk akan digunakan teknik ANN. Kajian ini dilakukan eksperimen dengan menggunakan 3 variabel dan melihat nilai R pada model yaitu 7.2% atau besarnya pengaruh antar ketiga variabel bebas dalam memprediksi masa studi sebesar 7.2%. Maka dari itu akan dilanjutkan kajian lanjutan untuk memperkuat hasil yang sudah didapatkan pada saat ini.

Kata kunci: Artificial Neural Network, kelulusan, prediksi

1. Pendahuluan

Mahasiswa merupakan salah satu aspek penting dalam evaluasi keberhasilan penyelenggaraan program studi pada suatu perguruan tinggi. Pemantauan mahasiswa yang masuk, peningkatan kemampuan mahasiswa, prestasi yang dicapai mahasiswa, rasio kelulusan terhadap jumlah total mahasiswa, dan kompetensi lulusan seyogyanya mendapatkan perhatian yang serius untuk memperoleh kepercayaan stakeholder dalam menilai dan menetapkan penggunaan lulusannya. Berdasarkan uraian di atas, pada penelitian ini akan dibuat sebuah sistem untuk mengklasifikasikan kelulusan mahasiswa dengan cara mengevaluasi kinerja pada tahun pertama dan atau tahun kedua. Pada penelitian ini, digunakan teknik *data mining* untuk menemukan pola kelulusan mahasiswa yang sudah lulus, kemudian dijadikan dasar untuk memprediksi kelulusan mahasiswa kedepannya.

Data mining adalah proses menemukan hubungan dalam data yang tidak diketahui oleh pengguna dan menyajikannya dengan cara yang dapat dipahami sehingga hubungan tersebut dapat menjadi dasar pengambilan keputusan (Schell et al, 2007). Beberapa penelitian telah banyak dilakukan dengan menggunakan teknik *data mining* untuk menggali berbagai informasi dari sebuah *database* mahasiswa, seperti untuk analisis hubungan antara jalur masuk mahasiswa baru, prestasi dan kelulusannya menggunakan algoritma *K-Means* (Erdogan & Timor, 2005); monitoring dan evaluasi kinerja akademik mahasiswa menggunakan teknik *data mining* (Ogor, 2007); menerapkan *data mining* untuk membangun SPK dalam mengevaluasi dan memilih calon mahasiswa internasional

ISBN 978-602-73461-8-5

yang paling memenuhi syarat (Hien & Haddawy, 2007); prediksi kelulusan mahasiswa dengan menerapkan algoritma *Naïve Bayes* dan algoritma C4.5 (Suhatinah dkk, 2010); model prediksi kinerja akademik mahasiswa tahun pertama menggunakan NBC (Mora et al, 2011); prediksi kinerja akademik mahasiswa dengan algoritma *K-Means clustering* yang hasilnya setelah proses *clustering* mahasiswa akan dikelompokkan ke dalam tiga kategori, yaitu kategori mahasiswa yang memiliki kinerja tinggi, sedang, dan rendah (Haque et al, 2012); dan prediksi kinerja mahasiswa menggunakan algoritma klasifikasi data mining yaitu *Decision Tree Classifier*, *Neural Network*, dan *Nearest Neighbor Classifier* (Kabakchieva, 2012).

Melihat potensi yang cukup besar terhadap data akademik dan kebutuhan institusi pendidikan untuk meningkatkan kualitas pendidikan maka dilakukan penelitian ini. Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik kelompok siswa yang ada dengan menggunakan data akademik. Untuk melihat jumlah dan kelompok siswa yang terbentuk akan digunakan teknik ANN.

Kenyataan yang ada dan yang diakui bahwa pada umunya kemampuan siswa yang tercermin dalam nilai akhir serta lama studi. Namun untuk pengikatan kualitas akademik terutama kualitas lulusan sebuah institusi juga memiliki keinginan bisa mengetahui prediksi lebih awal bagaimana kinerja sebenarnya selama siswa menempuh kuliah. Dan kinerja lulusan siswa secara umum ada kelompok siswa yang berhasil lulus dan tidak berhasil (gagal). Mereka yang masuk dalam kelompok yang berhasil lulus nantinya dapat dikelompokkan lagi dalam tingkatan berdasarkan prestasi lulus dan ketepatan masa studi.

Selain itu masih cukup banyak juga mahasiswa yang sudah mengerjakan skripsi namun berhenti dan tidak melanjutkan lagi. Dari data yang sudah skripsi diperoleh bahwa terdapat ada yang skripsinya berhenti atau tertunda. Hal ini berakibat pada tertundanya kelulusan siswa. Di saat akhir kuliah siswa yang lulus akan diklasifikasikan dengan menggunakan peringkat kelulusan ditinjau dari lama studi dan IPK sebagai siswa lulus dengan pujian, sangat memuaskan atau memuaskan.

Predikat kelulusan baru bisa diketahui pada akhir masa kuliah atau setelah siswa lulus kuliah. Siswa akan lulus dengan predikat tertentu yang dipengaruhi pada nilai dan lama studi. Masalah dihadapi adalah bagaimana siswa-siswa bisa lulus dengan tingkatan yang terbaik. Masalah yang lain yang dihadapi adalah bagaimana memprediksi siswa yang dimungkinkan terhambat untuk lulus karena kompetensi untuk menempuh skripsi kurang terpenuhi. Masalah ini terjadi secara umum di Universitas Gadjah Mada yang menjadi objek penelitian.

Karena itu, pada penelitian ini akan dikembangkan suatu sistem yang dapat mengklasifikasi kelulusan mahasiswa dengan melihat pola kelulusan mahasiswa beberapa periode sebelumnya.

2. Metode

2.1 Objek penelitian

Terdapat beberapa variabel yang digunakan dalam kajian awal ini. Variabel bobot nilai, sks, ipk, jumlah mata kuliah menjadi variabel independen, sedangkan masa studi menjadi variabel dependen. Nilai masa studi sendiri akan di prediksi dengan menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN). Metode ini digunakan karena memiliki nilai yang akurat dengan minimal error (Hill et al, 1994). Data input yang digunakan merupakan data yang berasal dari data akademis aktual di suatu perguruan tinggi. Data yang digunakan pada kajian awal ini adalah dari catatan akademis 50 mahasiswa, dengan variabel yang dapat dilihat pada Tabel 1.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 1. Keterangan variabel

Nama Data	Deskripsi Data	Pengolahan Data	Tingkat Pengukuran
Bobot	Nilai mahasiswa yang di-transformasikan ke dalam angka	Melakukan kodifikasi nilai A=4; B=3; C=2; D=1; E=0	Ordinal
SKS	Jumlah satuan kredit semester yang diambil oleh mahasiswa	Menjumlahkan seluruh satuan kredit semster dari tiap mata kuliah yang diambil oleh mahasiswa	Metrik
IPK	Indeks prestasi kumulatif mahasiswa	Hasil pembagian kolom bobot degan kolom SKS	Metrik
Jumlah Mata Kuliah	Jumlah mata kuliah yang diambil	Penjumlahan total mata kuliah yang diambil mahasiswa	Metrik

Dari data input tersebut dilakukan tahap transformasi dan pembersihan data dan pada kajian awal ini dilakukan perhitungan korelasi masa studi terhadap variabel tersebut dan kemudian dilanjutkan dengan jaringan saraf tiruan.

2.2 Desain eksperimen

Tahap awal dari penelitian ini adalah memahami permasalahan yang akan diselesaikan yaitu melakukan estimasi terhadap masa studi dan melihat faktor yang mempengaruhi kelulusan berdasarkan persamaan pola antara data masa lalu dengan data aktual. Pada tahap kajian awal ini, peneliti hanya melakukan uji korelasi antar variabel dan akan dilanjutkan kemudian dengan keseluruhan data dan atribut untuk mencari adanya pola serta keterkaitan antara variabel - variabel dengan masing-masing tujuan.

2.3 Pengolahan data

Data yang didapatkan dari eksperimen selanjutnya diolah menggunakan analisis statistik. Pengujian data dilakukan dengan analisis korelasi (α=0.05), dan dilanjutkan dengan prediksi menggunakan jaringan saraf tiruan.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan eksperimen yang dilakukan, didapatkan hasil dari uji korelasi masing-masing variabel, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 2. Hasil korelasi

Spearman's rho		Bobot	SKS	IPK	Masa Studi
Masa Studi	Correlation Coefficient	-.602**	0.109	-.671**	1.000
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.318	0.000	
	N	86	86	86	86

***** berarti terdapat korelasi yang signifikan antara variabel yang dihubungkan

Dari hasil korelasi dapat dilihat semua prediktor memiliki korelasi signifikan terhadap variabel masa studi, sehingga variabel tersebut dapat dimasukkan ke dalam model prediksi.

Kemudian metode lain yang dilakukan untuk prediksi masa studi adalah *Artificial Neural Network* yang digunakan adalah *Multilayer Perceptron* (MLP). *Multilayer Perceptron* dapat digunakan untuk memprediksi data ril dengan *supervised training*. Arsitektur yang digunakan dipilih yang terbaik secara otomatis oleh SPSS. Tipe training yang dipilih adalah *batch training*. *Batch training* mampu menghasilkan error paling kecil dibanding metode *training* lainnya. Performansi model dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Artificial Neural Network

Training	*Sum of Squares Error*	24.989
	Percent Incorrect Predictions	73.3%

Dependen Variabel: MasaStudi

Dengan menggunakan *artificial neural network* diperoleh nilai MSE (Mean Square Error) sebesar 24.989 yang dapat dilihat sesuai Tabel 3.

Kemudian pada kajian awal penelitian ini, peneliti mencoba menganalisis dengan menggunakan regresi linier yang dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil regresi linier

Model	***R***	***R Square***	***Adjusted R Square***	***Std. Error of the Estimate***	***Durbin-Watson***
1	.267[a]	0.072	0.038	6.30459	1.075

a. Predictors: (Constant), ipk, sks, bobot

Dari tabel diatas diperoleh nilai R sebesar 0.267 dan nilai R Square sebesar 0.072 atau besarnya pengaruh antara ketiga variabel bebas dalam memprediksi masa studi sebesar 7.2%, sedangkan sisanya sebesar 92.8% dipengaruhi faktor lainnya. Nilai standar error sebesar 6.30 atau MSE sebesar 39.69.

4. Kesimpulan

Dari hasil kajian awal penelitian ini menunjukkan bahwa nilai MSE dari hasil prediksi dengan menggunakan *artificial neural network* lebih kecil yaitu 24.989 dibandingkan dengan nilai MSE dengan regresi linier yaitu 39.69. Dan melihat nilai R

ISBN 978-602-73461-8-5

pada model regresi linier yaitu 7.2% atau besarnya pengaruh antar ketiga variabel bebas dalam memprediksi masa studi sebesar 7.2%. Maka dari itu akan dilanjutkan kajian lanjutan untuk memperkuat hasil yang sudah didapatkan pada saat ini. Kajian selanjutnya akan dilakukan dengan menambah jumlah variabel dan menambah jumlah data agar lebih terlihat faktor-faktor apa saja yang penting dalam melihat kelulusan mahasiswa pada umumnya.

Daftar Pustaka

Erdoğan, Ş.Z. and Timor, M., 2005, A data mining application in a student database, *Journal of aeronautics and space technologies*, *2*(2), pp.53-57.

García, E. P. I. and Mora, 2011, Model Prediction of Academic Performance for First Year Students, *10th Mexican International Conference on Artificial Intelligence,* pp. 169-174.

Hien, N.T.N. and Haddawy, P., 2007, A decision support system for evaluating international student applications, *Frontiers In Education Conference-Global Engineering: Knowledge Without Borders, Opportunities Without Passports, 37th Annual,* pp. F2A-1.

Hill, T., Marquez, L., O'Connor, M., & Remus, W., 1994, Artificial neural network models for forecasting and decision making. *International journal of forecasting*, 10(1), pp. 5-15.

Kabakchieva, D., 2012, Student performance prediction by using data mining classification algorithms, *International Journal of Computer Science and Management Research*, *1*(4), pp .686-690.

McLeod, R., Schell, G., 2007, Management Information Systems, *Pearson Education Inc*, 10th Edition.

Ogor, E.N., 2007, Student academic performance monitoring and evaluation using data mining techniques. *Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference IEEE,* pp. 354-359.

Shovon, M.H.I. and Haque, M., 2012, Prediction of student academic performance by an application of k-means clustering algorithm, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, *2*(7).

Suhatinah, M.S. dan Ernastuti, 2010, Graduation Prediction of Gunadarma University Students Using Naive Bayes Algorithm and C4.5 Algorithm, http://papers.gunadarma.ac.id/files/journals/3/articles/816/public/816-2182-1-PB/, diakses pada 20 Mei 2018.

ISBN 978-602-73461-8-5

Penentuan Produk Unggulan Usaha Kecil Menengah Pengolahan Ikan di Kota Serang

Shanti Kirana Anggraeni[1*], M. Syamsul Maarif[2], Sukardi[3], Sapta Raharja[4]
[1]Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten
[2]Sekolah Bisnis - Instutut Pertanian Bogor, Jl. Gunung Gede, Bogor.
[3, 4] Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor, PO BOX 220 16602, Bogor
*E-mail : s.kirana@untirta.ac.id

Intisari

Industri pengolahan hasil perikanan di Kota Serang sebagian besar berskala kecil dan menengah, masih mengandalkan pasar lokal, daya simpan produk rendah, dan tidak ada inovasi di dalamnya. Untuk menentukan arahan dalam penguatan kapabilitas inovasi UKM pengolahan ikan di Kota Serang, perlu ditentukan produk yang akan menjadi unggulan daerah. Tujuan penelitian ini adalah menentukan kriteria produk unggulan olahan ikan dan menentukan prioritas produk unggulan olahan ikan di Kota Serang. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan integrasi metode Eckenrode dan metode TOPSIS diperoleh kriteria mulai dari bobot tertinggi adalah pada kriteria keunikan/ ciri khas daerah, kemitraan inovasi, ketersediaan input (bahan baku, sumber daya manusia, teknologi), daya serap pasar, modal usaha, ramah lingkungan, kontribusi ekonomi, kontribusi sosial, serta dukungan kebijakan dan kelembagaan. Yang menjadi prioritas produk unggulan olahan ikan dari Kota Serang adalah sate bandeng, diikuti oleh produk kerupuk baso ikan, baso ikan, otak-otak, abon ikan, dan siomay.

Kata kunci : pengolahan ikan, produk unggulan, kapabilitas inovasi

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki sumberdaya kelautan dan perikanan yang sangat besar dan bernilai ekonomi sangat tinggi, ini mendorong tumbuh dan berkembangnya usaha penangkapan ikan, pengolahan ikan, dan usaha agribisnis perikanan tawar, laut dan payau. Ikan merupakan komoditas yang tidak tahan lama atau mudah mengalami pembusukan. Untuk itu keberadaan industri perikanan yang dapat mengolah ikan menjadi suatu produk setengah jadi atau produk jadi yang siap dikonsumsi oleh konsumen, menjadi kian penting.

Sampai tahun 2017 jumlah unit pengolahan ikan (UPI) di kota Serang, Provinsi Banten, mencapai 256 unit, atau 20,45% dari total 1257 unit pengolahan ikan di Provinsi Banten, dengan 8 jenis kegiatan pengolahan, yaitu penggaraman/pengeringan, pemindangan, pengasapan/pemanggangan, fermentasi, pereduksian/ekstraksi, pelumatan daging ikan, penangan produk segar, maupun pengolahan lainnya (Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Banten 2017). Beragamnya jenis produk olahan ikan di di Kota Serang, ternyata belum diiringi dengan keunggulan kompetitif menghadapi persaingan global yang semakin ketat. Produk olahan ikan yang sebagian besar diproduksi dan dipasarkan oleh usaha kecil dan menengah (UKM) masih mengandalkan pasar lokal, daya simpan produk rendah, desain kemasan dan labelnya pun belum standar, dan tidak ada inovasi di dalamnya.

Inovasi merupakan suatu strategi untuk mengkombinasikan unsur produksi dengan cara yang lebih baru dan lebih baik. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya inovasi adalah kapabilitas inovasi perusahaan tersebut. Inovasi dapat diciptakan jika pengusahanya memiliki kapabilitas inovasi. Kapabilitas inovasi adalah kemampuan

ISBN 978-602-73461-8-5

perusahaan yang berkelanjutan yang memanfaatkan keahlian, pengetahuan, keterampilan, dan sumber daya yang berhubungan dengan penciptaan proses produk, pelayanan, administrasi atau sistem organisasi yang baru dalam rangka penciptaan nilai (Iddris *et al*., 2016). Untuk menentukan arahan dalam penguatan kapabilitas inovasi UKM pengolahan ikan di Kota Serang, perlu ditentukan produk yang akan menjadi unggulan daerah. Dengan teridentifikasinya produk unggulan daerah, maka mempermudah stakeholder di daerah mengambil langkah kebijakan strategis.

Produk unggulan daerah merupakan produk yang diunggulkan yang memiliki ciri khas dan keunikan yang tidak dimiliki daerah lain serta berdaya saing handal serta memberikan peluang bagi kesempatan kerja terhadap masyarakat disekitar daerah tersebut. Produk unggulan daerah harus berorientasi terhadap ramah lingkungan dan dapat dipasarkan baik lokal, regional, nasional ataupun internasional (Suwandana *et al*., 2015). Pemilihan produk unggulan daerah akan berimplikasi wilayah tersebut berkonsentrasi pada produk tersebut sehingga wilayah tersebut menjadi terspesialisasi serta pembinaan akan lebih fokus, efisien, dan efektif pada produk tersebut, yang pada akhirnya akan meningkatkan pendapatan daerah.

Terdapat berbagai metode yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kriteria-kriteria pemilihan, seperti *Data Envelopment Analysis* (DEA) (Karasakal dan Aker, 2017), *Heuristic* (Wang *et al*. 2016), *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (Utama dan Baroto, 2018; Wang et al., 2017), *Analytic Network Process* (Parkouhi dan Ghadikolaei, 2017), Eckenrode (Salam, 2014; Badri dan Kusumastuti, 2012). Sejumlah penelitian yang melakukan pemilihan produk unggulan menggunakan beberapa metode, diantaranya metode *Analytical Hierarchy Process*/AHP (Kusdiana dan Gunardi, 2014; Leo *et al*., 2014; Sandriana, 2015),), MPE (Fasyah *et al*. 2016)); LQ *Location Quetiont*/LQ (Dewi dan Santoso, 2014); Metode Delphi (Herdhiansyah *et al*. 2013).

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah menentukan kriteria pemilihan produk unggulan dan menentukan produk unggulan olahan ikan di Kota Serang. Tersusunnya urutan prioritas produk unggulan olahan ikan ini dapat menjadi masukan bagi pemerintah daerah dalam penyusunan program pembangunan. Selain itu juga berdampak mendorong sinergisitas dan memudahkan *stakeholder* (akademisi, industri, pemerintah, dan masyarakat) dalam memfasilitasi dan membina industri tersebut.

Pada penelitian ini, pembobotan kriteria pemilihan produk unggulan akan menggunakan metode Eckenrode. Metode ini lebih sederhana dan efisien dalam memecahkan masalah tingkat kepentingan dalam pengambilan keputusan (Salam, 2014; Dadelo *et al*., 2012; Eckenrode, 1965). Selanjutnya penentuan produk unggulan akan menggunakan metode TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*). TOPSIS digunakan karena pada konsep bahwa alternatif terbaik yang dipilih tidak hanya memiliki jarak terpendek dari solusi positif ideal tetapi juga memiliki jarak terpanjang dari ideal larutan. Konsep ini banyak digunakan pada beberapa model MADM untuk memecahkan masalah keputusan praktis. Ini karena konsepnya sederhana dan mudah dimengerti, komputasi yang efisien, dan bisa mengukur kinerja relatif alternatif keputusan dalam bentuk matematika sederhana (Siregar dan Rahim, 2017).

2. Metode

Penelitian didahului dengan survai pakar berdasarkan kriteria: (1) memiliki reputasi, kedudukan dan telah menunjukkan kredibilitasnya sebagai ahli atau pakar pada substansi yang diteliti, (2) telah memiliki pengalaman di bidangnya, dan (3) keberadaan pakar atau responden dan kesediaannya untuk dilakukan wawancara. Penetapan indikator strategis sebagai kriteria pemilihan produk unggulan UKM pengolahan ikan dilakukan oleh sekelompok panel peneliti yang memiliki latar belakang berbeda.

ISBN 978-602-73461-8-5

Data yang telah diperoleh, diolah dan dianalisis dengan menggunakan dua metode, yaitu : (1) Metode Eckenrode dan (2) Metode TOPSIS. Tahapannya :

1. Invetarisasi produk unggulan dan menentukan kriteria dan sub kriteria produk unggulan berdasarkan menggunakan metode wawancara pada pakar.
2. Pembobotan kriteria dan sub kriteria menggunakan metode Eckenrode
   Adapun langkah-langkah dalam metode perhitungan bobot Eckenrode adalah sebagai berikut: (Ma'arif dan Tanjung 2003).
   1. Responden diminta untuk meranking (misal, ranking dari R_1 sampai dengan R_n, misal ada n ranking, j = 1, 2, 3, ..., n; ranking ke j = R_j) untuk setiap kriteria (kriteria ke i, dinotasikan dengan K_i, yang terdapat sebanyak n kriteria, i = 1, 2, 3, ..., n), sehingga diperoleh data sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan bobot kriteria eckenrode

Kriteria	**Ranking**						**Nilai**	**Bobot**
	R_1	R_2	R_3	…	R_j	R_n		
K_1	Jr_{11}	Jr_{12}	Jr_{13}	…		Jr_{1n}	N_1	B_1
K_2	Jr_{21}	Jr_{22}	Jr_{23}	…		Jr_{2n}	N_2	B_2
K_3	Jr_{31}	Jr_{32}	Jr_{33}	…		Jr_{3n}	N_2	B_3
…	…	…	…	…		…	…	…
K_i					Jr_{ij}			B_i
K_n	Jr_{n1}	Jr_{n2}	Jr_{n3}	…		J_{mn}	N_n	B_n
	R_{n-1}	R_{n-2}	R_{n-3}	…	R_{n-j}	R_{n-n}	Total nilai	1,00

Keterangan :

R_j = Urutan ranking ke j, j = 1,2,3,…., n

K_i = Jenis kriteria ke i, i = 1,2,3,…, n

Jr_{ij} = Jumlah responden yang memilih ranking ke j, untuk kriteria ke i

R_{n-j} = Faktor pengali ke j, yang diperoleh dari pengurangan banyaknya kriteria atau banyaknya ranking (yaitu n) dengan urutan ranking pada kolom tersebut. Misal ada 5 kriteria maka faktor pengali pada kolom ranking ke 3 (misal j=3) adalah n-j=5-3=2

B_i = Bobot kriteria ke i

2. Kemudian berdasarkan Jr_{ij} dan R_{n-j}, dilakukan penghitungan N_i sebagai berikut:

   $$\mathbf{N_i = \sum_{j=1} x\ R_{n-j},} \qquad \mathbf{j = 1,2,3,\ldots n}$$

   $$\mathbf{Total\ Nilai = \sum_{i=1} N_i,} \qquad \mathbf{i = 1,2,3,\ldots n}$$

3. Terakhir, dilakukan penghitungan bobot Kriteria Bi (yaitu B_1, B_2, B_3,....., B_n), dimana i = 1, 2, 3,....,n, dengan menggunakan rumus :

   $$\mathbf{B_i = (N_i/Total\ Nilai)}$$

4. Dalam rangka mengetahui tingkat kepentingan dimasing-masing Sub Kriteria dalam suatu Kriteria, responden juga diminta untuk meranking setiap Sub Kriteria dalam suatu kriteria.
5. Selanjutnya, dengan prosedur yang sama seperti di atas, dapat dihitung bobot masing-masing Sub Kriteria dalam suatu kriteria (B_{li}, bobot Sub Kriteria l dalam Kriteria i). Dengan demikian, diperoleh Bobot Tertimbang (BT) dari Sub Kriteria l dalam Kriteria i, yaitu

   $$\mathbf{BT_l = B_{li}\ x\ B_i}.$$

6. Kemudian, untuk mengetahui nilai kinerja n, responden nara sumber diminta untuk menilai kinerja dari masing-masing Sub Kriteria pada masing-masing Kriteria. Nilainya adalah sebagai berikut: 1= sangat kurang; 2 = kurang; 3 = baik; dan 4 = sangat baik.

ISBN 978-602-73461-8-5

7. Selanjutnya, kinerja di masing-masing Sub Kriteria dihitung dengan menggunakan rumus rata-rata geometrik dari nilai kinerja hasil penilaian dari seluruh narasumber dikalikan dengan Bobot Tertimbang dari masing-masing Sub Kriteria tersebut.
8. Akhirnya, kinerja dimasing-masing kriteria dihitung dengan menjumlahkan hasil dari seluruh kinerja dari Sub Kriteria-Sub Kriteria yang terdapat pada setiap Kriteria.

Setelah diperoleh bobot kriteria dan sub kriteria, dilakukan pemilihan produk unggulan dengan menggunakan metode TOPSIS. Secara umum, prosedur TOPSIS mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

1. Membuat matriks penilaian alternatif dari kriteria-kriteria yang telah dibobotkan

$$\text{D} = \begin{matrix} \\ \text{Kriteria} \end{matrix} \begin{matrix} \text{Alternatif} \\ \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ij} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

2. Membuat matriks normalisasi D^{α}
3. Melakukan perkalian elemen matriks normalisasi dengan bobot kriteria

$$D^{\alpha} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1j} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ d_{i1} & d_{i2} & \cdots & d_{ij} \end{bmatrix}$$

$$W_g^{\alpha} = \begin{bmatrix} w_{11} \\ \vdots \\ w_{n1} \end{bmatrix}$$

4. Menentukan solusi ideal positif dan solusi ideal negatif. Solusi ideal positif adalah nilai terbaik dari seluruh alternatif untuk setiap kriteria.
5. Menghitung separasi, yakni jarak alternatif terhadap solusi ideal.
6. Menentukan matriks solusi ideal positif (A^+) dan matriks solusi ideal negatif (A^-).

3. Hasil dan Pembahasan

Penentuan Kriteria Produk Unggulan Olahan Ikan dengan Metode Eckenrode

Salah satu metode pengambilan keputusan multi kriteria adalah metode Eckenrode. Metode Eckenrode diperkenalkan pertama sekali oleh seorang ilmuwan bernama Robert T. Eckenrode dari Dunlop and Association, Inc sekitar tahun 1965 di Amerika Serikat (Maarif dan Tanjung, 2003; Thompson *et al*., 2006; Kao, 2010; Fadhil *et al*., 2017). Metode Eckenrode telah dipakai secara luas sampai saat ini dan termasuk metode yang sederhana serta efisien untuk menyelesaikan permasalahan dalam penentuan bobot kepentingan tertentu dalam suatu keputusan (Rijai, 2011; Dadelo *et al*., 2012; Salam, 2014).

Dewasa ini hampir semua pemerintah daerah telah mengembangkan produk atau komoditas unggulan daerah. Di Indonesia, Kementerian Perindustrian mengembangkan model KIID (Kompetensi Industri Inti Daerah) yang pada awalnya dikenalkan dengan nama modelisasi SAKA SAKTI, satu kabupaten satu kompetensi inti oleh Profesor Martani Huseini. Dalam model itu, setiap daerah diwajibkan untuk memiliki satu kompetensi inti dalam upaya pengembangan daya saing dari suatu hulu hingga hilir (hilirisasi) dengan memperhatikan aspek-aspek kearifan lokal (*local wisdom & local genius*) daerah sebagai suatu ciri diferensiasi yang unik, sulit ditiru dan bernilai sebagai kekuatan daya saing suatu daerah yang langgeng (*sustainable*).

Produk unggulan adalah produk yang potensial dikembangkan pada suatu wilayah dengan memanfaatkan sumber daya alam (SDA) dan sumber daya manusia (SDM) lokal

ISBN 978-602-73461-8-5

yang berorientasi pasar dan ramah lingkungan, sehingga memiliki keunggulan kompetitif dan siap menghadapi persaingan global. Definisi lain menyatakan bahwa produk unggulan adalah : (1) Merupakan unggulan daerah yang telah dikembangkan secara turun-temurun, (2) Merupakan produk khas daerah setempat, (3) Berbasis pada sumberdaya lokal, (4) Memiliki penampilan dan kualitas produk yang sesuai dengan tuntutan pasar, (5) Memiliki peluang pasar yang luas, baik domestik maupun internasional, (6) Memiliki nilai ekonomi yang tinggi, dan (7) Dapat menjadi penghela bagi perekonomian daerah (Kementerian Koperasi dan UMKM, 2010).

Dalam menentukan produk unggulan di suatu daerah, harus mempertimbangkan agroindustri yang berkelanjutan, dengan tiga unsur utamanya yaitu dimensi ekonomi, ekologi dan sosial. Usaha pengolahan ikan secara ekonomis dianggap berkelanjutan jika sektor tersebut mampu menghasilkan produk secara berkesinambungan (*on continuing basis*), memberikan kesejahteraan finansial bagi para pelakunya, dan memberikan sumbangan devisa serta pajak yang signifikan bagi daerah atau negara. Usaha pengolahan ikan dikatakan secara ekologis berkelanjutan manakala ketersediaan stok atau sumber daya ikannya dapat dipelihara secara stabil, tidak terjadi eksploitasi berlebihan, dan tidak terjadi pembuangan limbah melampaui kapasitas asimilasi lingkungan yang dapat mengakibatkan kondisi tercemar. Dan ketiga, tujuan pembangunan perikanan dianggap secara sosial berkelanjutan, apabila kebutuhan dasar (pangan, sandang, kesehatan, dan pendidikan) seluruh penduduknya terpenuhi; terjadi distribusi pendapatan dan kesempatan berusaha secara adil; ada kesetaraan gender (*gender equity*), dan minim atau tidak ada konflik sosial.

Dalam penelitian ini kriteria yang digunakan dalam penentuan prioritas produk unggulan olahan ikan di Kota Serang, adalah sebagai berikut : (1) Keunikan/ciri khas daerah, (2) Ketersediaan input (bahan baku, sumber daya manusia, teknologi), (3) Daya serap pasar, (4) Kemitraan inovasi,(5) Dukungan kebijakan dan kelembagaan, (6) Kontribusi ekonomi, (7) Kontribusi sosial, (8) Ramah lingkungan, (9) Kebutuhan modal usaha, dan (10) Risiko.

Dari perhitungan dengan metode Eckenrode diperoleh bobot kriteria untuk penentuan produk unggulan olahan ikan di Kota Serang. Secara berurutan mulai dari bobot tertinggi adalah pada kriteria keunikan/ ciri khas daerah, diikuti oleh kriteria kemitraan inovasi, ketersediaan input (bahan baku, sumber daya manusia, teknologi), daya serap pasar, modal usaha, ramah lingkungan, kontribusi ekonomi, kontribusi sosial, serta yang terakhir yaitu dukungan kebijakan dan kelembagaan. Selengkapnya kriteria dan bobot nilai disajikan pada tabel berikut ini.

Tabel 2. Bobot kriteria produk unggulan olahan ikan di Kota Serang.

Kriteria	Bobot
Keunikan, ciri khas daerah (K1)	0.129
Ketersediaan input (bahan baku, sumber daya manusia, teknologi) (K2)	0.116
Daya serap pasar (K3)	0.099
Kemitraan inovasi (K4)	0.118
Dukungan kebijakan dan kelembagaan (K5)	0.082
Kontribusi ekonomi (K6)	0.092
Kontribusi sosial (K7)	0.085
Ramah lingkungan (K8)	0.097
Kebutuhan modal usaha (K9)	0.098
Risiko (K10)	0.084

Keunikan atau ciri khas daerah adalah faktor yang mewakili ukuran keunikan atau identitas daerah, berbasis kepada potensi sumber daya lokal. Semakin khas sebuah

ISBN 978-602-73461-8-5

komoditas, maka hal tersebut menjadikannya lebih mudah diingat dan unggul di pasar. Produk khas daerah biasanya mencerminkan karakter masyarakatnya. Daerah pegunungan menghasilkan produk yang sesuai dengan iklim pegunungan yang dingin. Penduduk di daerah pesisir akan melahirkan ide kreatif produk olahan ikan yang ikut memperkaya produk makanan khas daerah.

Kemitraan inovasi menduduki peringkat kedua dari pembobotan kriteria. Inovasi merupakan fungsi utama dalam proses kewirausahaan. Inovasi memiliki fungsi yang khas bagi wirausahawan. Dengan inovasi wirausahawan menciptakan baik sumberdaya produksi baru maupun pengelolaan sumber daya yang ada dengan peningkatan nilai potensi untuk menciptakan sesuatu yang tidak ada menjadi ada. Inovasi adalah sutu proses untuk mengubah kesempatan menjadi ide yang dapat di pasarkan. Menurut Drucker (2008), inovasi lebih dari sekedar ide / gagasan murni yang memegang peranan penting tetapi juga fikiran kreatif mengembangkanya menjadi gagasaan berharga. Inovasi mampu menciptakan perkembangan segmen pasar, membentuk posisi koorporat yang baik serta meningkatkan pertumbuhan perusahaan (Keeh, 2007).

Rendahnya kemitraan inovasi UKM menjadi titik tolak dibutuhkannya kerjasama yang erat dengan aktor inovasi lainnya untuk memenuhi kebutuhan inovasi UKM pengolahan ikan. Tak ada inovasi dalam mengembangkan produk UKM olahan perikanan, sedangkan inovasi merupakan kunci keberhasilan untuk meningkatkan daya saing bisnis (Shapiro, 2002; Salavou *et al*., 2004) dan sikap inovatif harus ada pada setiap diri *stakeholder* yang terlibat didalamnya.

Menurut Asmara *et al*., (2013), industri kecil banyak melakukan upaya untuk mendapatkan inovasi baru melalui kemampuan perusahaan sendiri maupun dari institusi lain yang memberi bantuan. Sebanyak 13,4% industri kecil menyatakan dibantu oleh lembaga keuangan dalam melakukan kegiatan inovasi. Angka ini masih terhitung kecil apabila dibandingkan dengan pengeluaran yang bersumber dari dana perusahaan sendiri. Dukungan dari pihak lain seperti perguruan tinggi dan asosiasi industri juga tidak terlalu banyak. Demikian pula dengan dukungan dari pemerintah. Dukungan dana dari pemerintah pusat hanya menyentuh 0,9% industri kecil sedangkan dana dari pemerintah daerah hanya menyentuh 2,6% industri kecil. Untuk bantuan dengan bentuk selain dana seperti bantuan berupa keterlibatan dalam program pemerintah, hal tersebut juga terlihat kecil. Bantuan yang paling banyak adalah bantuan dalam hal akuisisi mesin, meskipun hanya 3,4% industri kecil yang mendapatkan bantuan tersebut (Asmara *et al*., 2013).

Penentuan prioritas produk unggulan dengan menggunakan metode TOPSIS.

Metode TOPSIS diperkenalkan oleh Yoon dan Hwang (1981) dimana metode ini menggunakan sudut pandang geometris dengan menggunakan jarak euclidean untuk menentukan kedekatan relatif dari suatu alternatif dengan solusi optimal. Solusi ideal positif didefinisikan sebagai nilai terbaik yang dapat dicapai oleh kriteria, sebaliknya solusi ideal negatif adalah nilai terburuk yang dapat dicapai oleh setiap kriteria. Berdasarkan perbandingan jarak relatifnya, maka susunan prioritas alternatif bisa diketahui.

Pada penelitian ini TOPSIS digunakan sebagai komplementer integrasi metode Eckenrode yang telah digunakan pada perhitungan sebelumnya. TOPSIS tidak memiliki metode input yang spesifik dalam pengukuran alternatif, untuk itu TOPSIS memerlukan input dari metode lain seperti DEMATEL (Baykazoglu *et al*. 2012), *fuzzy* AHP (Yang, 2008), ataupun ANP (Wu 2009). Berikut ini hasil perhitungan yang telah dilakukan sehingga menghasilkan indeks yang menunjukkan urutan prioritas produk unggulan olahan ikan di Kota Serang. Urutan tertinggi sampai terendah disajikan pada Table 3.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 3. Prioritas produk unggulan olahan ikan di Kota Serang

Ranking	Produk	Indeks
1	Sate Bandeng	0.539
2	Kerupuk baso ikan	0.498
3	Baso ikan	0.460
4	Otak-otak	0.375
5	Abon ikan	0.358
6	Siomay	0.292

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan integrasi metode Eckenrode dan TOPSIS, diperoleh hasil bahwa yang menjadi prioritas untuk produk unggulan olahan ikan dari Kota Serang adalah sate bandeng, diikuti oleh produk kerupuk baso ikan, baso ikan, otak-otak, abon ikan, dan yang terakhir adalah produk siomay. Sate bandeng merupakan masakan khas dari di Kota Serang. Disebut sate karena ikan bandeng yang telah diolah, dijepit dengan bambu, kemudian dibakar sehingga mirip sate. Sate bandeng yang tergolong unik ini juga merupakan menu masakan yang mempunyai nilai sejarah. Konon, masakan ini merupakan ide dari Sultan Banten. Pada masa itu, sultan ingin menyajikan masakan ikan bandeng kepada para tamu tanpa harus merepotkan tamu untuk memisahkan tulang ikan bandeng dari dagingnya. Sejak itulah kemudian sate bandeng mulai dikenal dan menjadi menu masakan khas kerajaan Banten.

Produk unggulan dari suatu daerah menggambarkan kemampuan daerah tersebut untuk menghasilkan produk, menciptakan nilai, memanfaatkan sumberdaya secara nyata, memberi kesempatan kerja, mendatangkan pendapatan bagi masyarakat maupun pemerintah, serta memiliki prospek untuk meningkatkan produktivitas dan investasi. Pemilihan produk unggulan dari suatu wilayah akan berimplikasi wilayah tersebut berkonsentrasi pada produk tersebut sehingga wilayah tersebut menjadi terspesialisasi serta pembinaan akan lebih fokus, efisien, dan efektif pada produk tersebut, yang pada akhirnya akan meningkatkan pendapatan daerah.

Semakin baik *intellectual capital* dan inovasi akan semakin tinggi kemampuan bersaing (Jose dan Gonzales, 2012). Kemampuan untuk melakukan inovasi sangat penting agar menciptakan keunggulan bersaing (Larsen dan Lewis, 2007), kemampuan inovasi dapat meningkatkan keunggulan bersaing (Parkman *et al.,* 2012).

Salah satu strategi untuk meningkatkan sinergi antar aktor inovasi adalah melalui *Science & Technology Park* atau *Science Technopark* (STP). Menurut International Association of Science Park/IASP (2002), STP merupakan kawasan khusus yang diorganisasikan secara profesional dengan tujuan meningkatkan kesejahteraan komunitas di sekitar kawasan tersebut melalui pendayagunaan iptek dan budaya inovasi yang terintegrasi dengan kegiatan bisnis dan pendidikan. STP digunakan sebagai sarana untuk menginisiasi dan mengalirkan pengetahuan dan teknologi diantara lembaga litbang, universitas dan industri. STP memfasilitasi tumbuh dan berkembangnya industri-industri berbasis inovasi melalui inkubasi dan proses *'spin-off'* disamping menyediakan jasa-jasa bernilai ekonomi tinggi dalam suatu kawasan yang dilengkapi fasilitas berkualitas tinggi. Terdapat beberapa istilah sejenis dengan STP yang biasa digunakan, antara lain *"Research Park", "Science Park", "Bussiness Park", "Innovation Center"*, dan lain-lain.

4. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan integrasi metode Eckenrode dan metode TOPSIS diperoleh kriteria produk unggulan, secara berurutan mulai dari bobot tertinggi adalah pada kriteria keunikan/ ciri khas daerah, diikuti oleh kriteria kemitraan inovasi, ketersediaan input (bahan baku, sumber daya manusia, teknologi), daya serap pasar, modal

ISBN 978-602-73461-8-5

usaha, ramah lingkungan, kontribusi ekonomi, kontribusi sosial, serta yang terakhir yaitu dukungan kebijakan dan kelembagaan. Sedangkan yang menjadi prioritas produk unggulan olahan ikan dari Kota Serang adalah sate bandeng, diikuti oleh produk kerupuk baso ikan, baso ikan, otak-otak, abon ikan, dan yang terakhir adalah produk siomay. Rekomendasi yang diberikan adalah pembentukan *Science Park / Technopark* berbasis pengolahan ikan sebagai sarana untuk menginisiasi dan mengalirkan pengetahuan dan teknologi diantara lembaga litbang, universitas, pemerintah, industri, dan masyarakat.

Daftar Pustaka

Arnold, E., Boekholt, P., Enrico, D., McKibbin, S., de la Mothe, J., Simmonds, P., Stroya, J., Zaman, R., 2003. *Research and Innovation Governance in Eight Countries:A Meta-Analysis*. Work Funded by EZ (Netherlands) and RCN (Norway). Technopolis.

Asmara, I.J., Berliana, N.G., Ariana, L. Rahmaida, R., 2013. Potensi Inovasi Industri Kecil dalam Paradigma Pembangunan Inklusif di Indonesia. Warta KIML Vol 11 No. 2 tahun 2013. Pusat Penelitian Perkembangan Iptek, LIPI.

Baykasoglu, A., Golcuk, I., 2017. Development of an interval type-2 fuzzy sets based hierarchical MADM model by combining DEMATEL and TOPSIS. *Expert System with Applications*. Volume 70, 15 March 2017

Berawi, M.A., Zagloel, T.Y., Miraj, P., Mulyanto, H., 2017. Producing Alternative Concept for the Trans-sumatera Toll Road Project Development using Location Quotient Method. Proceedia Engineering, Volume 171, pages 265-273.

Dewi, K.A.N.P, Santoso, E.B,. 2014. Pengembangan Komoditas Unggulan Sektor Pertanian Tanaman Pangan di Kabupaten Karangasem Melalui Pendekatan Agribisnis. *Jurnal Teknik*

Dadelo, S., Turskis, Z., Zavadskas, E.K., Dadeline, R., 2012. Multiple Criteria assessment of elite security personal on the basis of aras and expert methods. *Journal of Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research* 46 (4): 65–88.

Drucker, P., 2008, *Innovation And Entrepreneurship*, NewYork: Harper dan Row.

Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Banten, 2017. *Kelautan dan Perikanan Provinsi Banten dalam Angka 2017.*

Eckenrode, R.T., 1965. Weighting multiple criteria. *Management Science* 12(3):180–192. https://doi.org/10.1287/mnsc.12.3.180.

Edquist, C., 2001. *The Sistem of Innovation Approach and Innovation Policy: An Account of The State of The Art*. Lead paper presented at the DRUID Conference. Aalborg, June 12-15 2001. Under the theme: National Sistem of Innovation Institutions and Public Policies.

Fadhil, R., Ma'arif, M.S., Bantacut, T., Hermawan, A., 2017, Sistem Penunjang Keputusan Multikriteria untuk Pengembangan Agroindustri Kopi Gayo Menggunakan Pendekatan Fuzzy Eckenrode dan Fuzzy TOPSIS. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* No. 27 (1):103-113.

Fasyah, D.N., Daryanto, H.K., Suprayitno, G. 2016. Penentuan Produk Unggulan Usaha Mikro Kecil Menengah Sektor Industri Agro di Kabupaten Bogor. *Manajemen IKM*. Vol. 11(2):103-110.

Herdhiansyah, D., Sutiarso, L., Purwadi, Taryono, D., 2013. Kriteria Kualitatif Penentuan Produk Unggulan Komoditas Perkebunan dengan Metode Delphi di Kabupaten Kolaka Sulawesi Tenggara. *Jurnal Agritech* Vo. 33 No. 1 Februari 2013.

Iddris, F., Awuah, G.B. dan Gebrekidans, D.A. 2016. Achieving supply chain agility through innovation capability building. *Int. J. Supply Chain and Operations Resilience*. No. 2(2): 114–143.

ISBN 978-602-73461-8-5

Jose, S.G., Gonzales, E.G., 2012. The Effect of Intellectual Capital and Innovation on Competitiveness : An Analysis of the Restoran Industry in Guadalajara. Meksico, *ACR,* 20(3), 33-46

Kao, C., 2010. Weight determination for consistently ranking alternatives in multiple criteria decision analysis. *Applied Mathematical Modelling* 34(7): 1779–1787. https://doi.org/10.1016/j.apm.2009.09.022.

Karasakal, E., Aker, P., 2017. A multicriteria sorting approach based on data envelopment analysis for R&D project selection problem. *Omega*. Volume 73 : 79-92

Keeh, H.T., Tat, M.N., dan Ping, 2007, The Effects ot Entrepreneurial Orientation and Marketing Information the Performance of SMEs, *Journal of Business Venturing*, 592-611.

Kusdiana, D., Gunardi, A., 2014. Pengembangan Produk Unggulan UMKM Kabupaten Sukabumi. *Jurnal Trikonomika*. Volume 13, No. 2, Desember 2014, Hal. 153–171. ISSN 1411-514X (*print*) / ISSN 2355-7737 (*online*)

Larsen, P., Lewis, A., 2007. How Award Winning SMEs The Barriers to Innovation. *Journal Creativity and Innovation Management*, 141-151.

Leo, J., Nababan, E., Gultom, P., 2014. Penentuan Komoditas Unggulan Pertanian dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP). *Saintia Matematika* ISSN: 2337-9197. Vol. 02, No. 03 (2014), pp. 213-224.

Lundvall, B., 1992. *National Innovation Systems: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. London. Pinter Publishers.

Maarif, M.S., dan Tanjung, H., 2003. *Teknik-Teknik Kuantitatif untuk Manajemen*. Penerbit PT Gamedia Widiasarana Indonesia. Jakarta.

Metcalfe, S., 1995. The Economic Foundations of Technology Policy: Equilibrium and Evolutionary Perspectives, in Stoneman, P. (ed.), Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change. Oxford.

Nelson, R., 1993. *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*. New York (NY). Oxford University Press.

Parkouhi, S.V., Ghadikolaei, A.S., 2017. A resilience approach for supplier selection: Using fuzzy analytic network process and grey VIKOR techniques. *Journal of Cleaner Production*. Volume 161: 431-451

Parkman, I.D., Samuel, S.H, & Helder, S., 2012. Creative Industries: Aligning Entrepreneurial Orientation and Innovation Capacity. *Journal of Research in Marketing and Entrepreneurship,* 14(1): 95-114.

Rijai, L., 2011. Penentuan kriteria ilmiah potensi tumbuhan obat unggulan. *Journal of Tropical Pharmacy and Chemistry* 1 (2): 128–136. https://doi.org/10.25026/jtpc.v1i2.20.

Salam, A.R., 2014. Analisis Penentuan Pelabuhan Impor Produk Hortikultura: Aplikasi Metode Eckenrode. *Buletin Ilmiah Litbang Perdagangan* 8(1): 1–24.

Sandriana, N., Hakim, A., dan Saleh, C., 2015. Strategi Pengembangan Produk Unggulan Daerah Berbasis Klaster di Kota Malang. *Jurnal Reformasi*. Vol. 5, No. 1, 2015.

Siregar, J.D. dan Rahim, R. 2017. Decision Support System Best Employee Assessments with Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution. International *Journal Recent TRENDS Eng*. Vol. 3(3): 6–17.

Suwandana, E., Mutaqin, A.Z., Rostiawati, E., Oktaviana, O. 2015. *Kajian Penguatan Lembaga Kolaboratif dalam Penguatan Desa Inovatif di Provinsi Banten*. Proceeding Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) Nasional ke-2 Ikatan Widyaiswara Indonesia (IWI) Provinsi Banten Pandeglang, 3 – 4 Desember 2015.

Taufik, T.A., 2005. Pengembangan Sistem Inovasi Daerah : Perspektif Kebijakan. Jakarta. PPKTPUD-PKM Deputi Bidang PKT-BPPT dan Deputi Bidang Pengembangan

ISBN 978-602-73461-8-5

Sipteknas KNRT. Jakarta.

Thompson, R.L., Iacovou, C.L., Shirland, L.E., 2006. A comparison of evaluation techniques for decision analysis involving large attribute sets. *Journal of Applied Business Research* 22(2): 25–38.Wu, D., 2009. Supplier Selection: A Hybrid Model Using DEA, Decision Tree, and Neural Network. *Expert Systems with Applications* No. 36, hal. 9105–9112.

Utama, D.M., Baroto, T., 2018. *Penggunaan SAW untuk Analisis Proses Perebusan Kedelai dalam Produksi Tempe*. AGROINTEK Volume 12, No. 2 Agustus 2018

Wang, T.K., Zhang, Q., Chong, H.Y., Wang, X., 2017. Integrated Supplier Selection Framework in a Resilient Construction Supply Chain: An Approach via Analytic Hierarchy Process (AHP) and Grey Relational Analysis (GRA). *Sustainability* . *9*(2): 289

Wang, Y., Brzezinsky, A.J., Qiao, X., Ni, J., 2016. Heuristic Feature Selection for Shaving Tool Wear Classification. Journal of Manufacturing Science and Engineering. VOL 139 (4)

Yang, J.L., 2008. Vendor Selection by Integrated Fuzzy MCDM Techniques with Independent

ISBN 978-602-73461-8-5

Prediksi Masa Studi Mahasiswa Berbasis Algoritma *Naive Bayes*

Singgih Saptadi, Sriyanto, Andy Imanuel
Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedharto, S.H., Tembalang, Semarang 50275
Telp. (024) 7460052
E-mail: singgihs@ft.undip.ac.id

Intisari

Lama masa studi mahasiswa sulit diketahui dengan pasti. Departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro (TI UNDIP) memiliki rata rata waktu studi mahasiswa selama 4 tahun 9 bulan pada tahun 2016. Departemen menginginkan rata rata waktu studi lebih cepat dari target tersebut. Dalam usaha meraihnya, departemen dapat lebih memberikan perhatian kepada mahasiswa yang berpotensi memiliki waktu studi lebih lama dari target. Data mining adalah suatu metode pemecahan masalah dengan melakukan analisis terhadap sekumpulan data. Prediksi masa studi mahasiswa dapat dilakukan menggunakan algoritma Naive Bayes dengan memanfaatkan data mahasiswa dalam tempat penyimpanan data. Hasil pengolahan data menunjukkan atribut-atribut yang memengaruhi masa studi, yaitu jalur masuk, indeks prestasi semester pertama dan kedua, asal sekolah, dan asal kota dengan tingkat akurasi sebesar 95.6%. Selain itu, didapatkan hasil prediksi masa studi mahasiswa dimana delapan orang memiliki potensi lulus dengan masa studi lebih dari empat tahun sembilan bulan. Dalam penelitian ini telah dibuat alat bantu bagi departemen dalam mempermudah melakukan prediksi. Hasil prediksi akan mengkategorikan seorang mahasiswa apakah berpotensi memiliki masa studi kurang dari sama dengan target atau melebihi target.

Kata kunci: Naive Bayes, Prediksi, Data Mining.

1. Pendahuluan

Data mining merupakan suatu metode pemecahan masalah dengan melakukan analisis terhadap kumpulan data atau informasi yang tersedia. Data mining dapat diterapkan dalam berbagai sektor kehidupan termasuk dalam sektor edukasi (Adejo & Connolly, 2018). Melalui data mining, dapat ditemukan pola dalam informasi, yang dapat menjelaskan kemungkinan yang akan terjadi (Witten et al, 2016). Rata rata masa studi sarjana di departemen teknik industri UNDIP harus dipercepat. Rata rata masa studi adalah rata rata waktu masa studi dari mahasiswa yang telah menyelesaikan sidang sarjananya. Maksimal masa studi adalah tujuh tahun yang merupakan waktu lulus yang dihindari oleh departemen. Menurut data yang diperoleh pada tahun 2016, rata rata masa studi mahasiswa TI adalah empat tahun sembilan bulan. Pada angkatan 2009 hingga 2012, terdapat 81 mahasiswa yang memiliki waktu studi lebih dari empat tahun sembilan bulan.

Lama masa studi mahasiswa sulit untuk diketahui dengan pasti. Target normal masa studi sarjana adalah empat tahun, termasuk di dalamnya sarjana jurusan Teknik Industri UNDIP. Pada kenyataannya tidak sedikit mahasiswa dengan masa studi lebih dari empat tahun. Setiap mahasiswa memiliki kemampuan dan kesulitan masing masing dalam menjalani masa kuliah yang secara tidak langsung memengaruhi performansi selama kuliah dan waktu masa studinya. Dalam database terdapat banyak data individual yang membedakan seorang mahasiswa dengan mahasiswa lainnya yang dapat diolah untuk menemukan suatu informasi atau pola masing masing mahasiswa. Dengan mengolah data

ISBN 978-602-73461-8-5

yang ada, dapat ditemukan kemungkinan seorang mahasiswa dapat lulus tepat waktu atau membutuhkan waktu yang lebih lama.

Metode yang digunakan adalah klasifikasi dengan algoritma *naive bayes*. *Naive Bayes* digunakan dalam penelitian ini karena atribut data terdiri atas kategori dan numerik. Algoritma ini akan menghitung probabilitas berdasarkan data alumni. Selanjutnya, hasil perhitungan probabilitas dapat dimasukkan kedalam algoritma *naive bayes* sehingga dapat mengklasifikasikan masa studi mahasiswa dan memprediksi mahasiswa yang memiliki kemungkinan untuk melebihi waktu target masa studi. Target pencapaian masa studi dalam penelitian ini adalah empat tahun sembilan bulan yang merupakan rata rata masa studi pada tahun 2016. Metode ini akan dapat diaplikasikan kepada mahasiswa yang telah selesai menempuh semester dua dan memasuki semester tiga. Melalui hasil prediksi ini, departemen dapat memberikan perhatian khusus kepada mahasiswa yang masuk dalam kategori untuk lulus tidak tepat waktu.

2. Metode

2.1. Objek penelitian

Objek yang akan diteliti adalah waktu studi mahasiswa pada departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro. Prediksi waktu studi akan dilakukan menggunakan algoritma *Naive Bayes.*

2.2. Desain penelitian

Penelitian menggunakan model klasifikasi dan hasilnya digunakan sebagai dasar prediksi yang dilakukan. Prediksi dalam penelitian ini adalah untuk melihat apakah mahasiswa akan lulus dengan masa studi sesuai target atau tidak. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Fokus dari penelitian ini adalah melihat kemungkinan mahasiswa yang akan lulus sesuai target atau tidak berdasarkan atribut jalur masuk mahasiswa, Indeks Prestasi Semester (IPS) 1 dan 2, asal kota dan asal sekolah. Atribut IPS 1 mewakili hasil kinerja pada semester pertama dimana mahasiswa dalam proses penyesuaian diri terhadap gaya belajar di bangku kuliah. Atribut IPS 2 mewakili kinerja mahasiswa pada semester kedua dimana mahasiswa telah berdaptasi terhadap proses perkuliahan Atribut asal sekolah mewakili kompetensi masing masing individu berdasarkan asal sekolahnya dimana setiap sekolah memiliki standar penilaian yang berbeda beda. Atribut asal kota mewakili tempat tinggal mahasiswa dimana setiap kota memiliki kebiasaan masyarakat yang berbeda beda sehingga memengaruhi pola pikir mahasiswa. Atribut Probabilitas masing masing atribut akan dihitung berdasarkan data alumni atau mahasiswa TI UNDIP yang telah menyelesaikan masa studi sarjananya yaitu data angkatan 2010 hingga 2012. Selanjutnya, akan dilihat akurasi dari rumus probabilitas dengan menguji data menggunakan data uji yaitu data angkatan 2013. Tingkat akurasi yang dinyatakan lulus uji adalah minimal 75%. Tingkat akurasi ini berdasarkan hasil penggunaan *data mining* terhadap sektor edukasi (Kaur et all, 2015). Setelah itu, rumus *Naive Bayes* dapat dipakai kepada mahasiswa untuk memprediksi masa studinya. Dalam penelitian ini juga akan dibuat sebuah *tool* untuk mempermudah departemen TI dalam melakukan prediksi masa studi.

2.3. Algoritma *Naive Bayes*

Data mining merupakan analisis prediktif, berhubungan dengan data dari yang sederhana hingga data kompleks dengan atribut yang bervariasi (Kotu & Bala, 2015). Algoritma *naive bayes* berasal dari teorema *bayes* yang dikemukakan oleh Thomas Bayes. Teorema *bayes* dapat memprediksi peluang di masa depan berdasarkan pengalaman masa lalu (Syarli & Muin, 2016). *Naive bayes* memiliki pendekatan statistik dan probabilistik

ISBN 978-602-73461-8-5

dimana algoritma ini melihat hubungan antara variabel input terhadap variabel output berdasarkan data historis. Rumus Teorema *bayes* adalah sebagai berikut :

$$\boldsymbol{P(Y|X) = \frac{P(Y) * P(X|Y`}{P(X)}} \quad \text{.....(1)}$$

Dimana :
P(Y|X) = Probabilitas Y (outcome) jika diketahui nilai dari X (atribut).
P(Y) = Probabilitas outcome yang diketahui dari data historis.
P(X) = Probabilitas bukti.

Jika terdapat lebih dari 1 atribut yang dijadikan pertimbangan dalam menentukan outcome dimana X menjadi X1,X2,X3,…,Xn , maka rumus (1) akan menjadi

$$P(Y|X) = \frac{P(Y) * P\Pi_{i=1}^{n}(X_i|Y)}{P(X)} \text{..... ..... (2)}$$

Dalam rumus (2), P(X) tidak perlu dihitung karena nilainya konstan untuk semua nilai Y. Data yang digunakan untuk menemukan nilai P(Y), P(X|Y) dan P(X) adalah data historis yang outcomenya telah diketahui. Setelah seluruh probabilitas dihitung, maka rumus P(Y|X) dapat diterapkan kepada data yang belum memiliki outcome atau dengan kata lain yang akan diprediksi (Kotu & Bala, 2015). Data atribut kontinu memerlukan cara perhitungan yang berbeda. Caranya adalah menggunakan rumus densitas *gauss* (Bustami, 2014). Rumus densitas *gauss* dapat dilihat pada rumus (3).

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \text{..... ....(3)}$$

Dimana:
π = rata – rata.
σ = Standar Deviasi.
x = nilai atribut yang dicari.

2.4. Data penelitian

Penelitian ini membutuhkan data sekunder yang didapatkan melalui bagian akademik. Data yang dibutuhkan adalah data Indeks Prestasi Semester (IPS) 1 dan 2, data jalur masuk mahasiswa, waktu masa studi mahasiswa, asal kota dan asal sekolah. Data sekunder yang telah disebutkan terdapat dalam database departemen Teknik Industri dan database akademik rektorat UNDIP. Data yang terkumpul akan dibagi menjadi *data training* dan data uji. Data angkatan 2010-2012 termasuk dalam *data training* dan data angkatan 2013 termasuk dalam data uji.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perhitungan *Naive Bayes*

Probabilitas data dicari berdasarkan kategori setiap atribut berdasarkan waktu studinya. Tabel 1 merupakan probabilitas atribut lulus target pencapaian. Terdapat 269 mahasiswa dan 237 diantaranya lulus sesuai target. Tabel 2 menunjukkan probabilitas atribut jalur masuk. Tabel 3 menunjukkan probabilitas atribut asal sekolah. Tabel 4 menunjukkan probabilitas atribut asal kota. Perhitungan IPS 1 dan 2 memiliki cara perhitungan yang berbeda karena data yang bersifat numerik, yaitu menggunakan perhitungan densitas *gauss*.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 1. Probabilitas lulus tepat waktu

Lulus Target Pencapaian	Probabilitas
YA	237/269
TIDAK	32/269

Tabel 2. Probabilitas jalur masuk

Jalur masuk	Lulus Target Pencapaian	
	TIDAK	YA
SNMPTN	9/32	60/237
SBMPTN	15/32	118/237
UM	8/32	59/237

Tabel 3. Probabilitas asal sekolah

Asal Sekolah	Lulus Target Pencapaian	
	TIDAK	YA
Negeri	27/32	185/237
Swasta	5/32	52/237

Tabel 4. Probabilitas asal kota

Asal Kota	Lulus Target Pencapaian	
	TIDAK	YA
Semarang	11/32	73/237
Jawa Tengah	4/32	40/237
Pulau Jawa	10/32	89/237
Luar Jawa	7/32	35/237

Perhitungan IPS 1 dan 2 memiliki cara perhitungan yang yaitu menggunakan rumus (3) Tabel 5 menunjukkan nilai rata-rata dan standar deviasi dari waktu studi dengan kategori "TIDAK" dan "YA". Dalam mencari probabilitas atribut IPS 1 dan 2, perhitungan akan disajikan dalam bentuk fungsi dikarenakan nilai "X" yang selalu berubah berdasarkan data yang tersedia.

Tabel 5. Probabilitas indeks prestasi Semester 1 dan 2

Lulus Tepat Waktu	Nilai	Atribut	
		IPS 1	IPS 2
TIDAK	Rata-rata	3.01	2.77
	Standar Deviasi	0.501198	0.610330423
YA	Rata-rata	3.11	3.08
	Standar Deviasi	0.439211437	0.34414799

ISBN 978-602-73461-8-5

Perhitungan IPS 1 kategori "TIDAK" :

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{2(3.14)}(0.501198)} e^{-\frac{(x-3.01)^2}{2(0.501198^2)}}$$

Perhitungan IPS 1 kategori "YA" :

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{2(3.14)}(0.439211437)} e^{-\frac{(x-3.11)^2}{2(0.439211437^2)}}$$

Perhitungan IPS 2 kategori "TIDAK":

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{2(3.14)}(0.610330423)} e^{-\frac{(x-2.77)^2}{2(0.610330423^2)}}$$

Perhitungan IPS 2 kategori "Ya" :

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{2(3.14)}(0.34414799)} e^{-\frac{(x-3.08)^2}{2(0.34414799^2)}}$$

3.2. Uji Akurasi

Dalam pengujian ini akan dilakukan pengujian dengan semua atribut yaitu jalur masuk, IPS 1, IPS 2, asal sekolah, dan asal kota serta pengujian dengan menghilangkan salah satu atribut untuk melihat pengaruh atribut terhadap hasil akurasi prediksi. Tabel 6 adalah contoh salah satu data uji yang akan diprediksi. Dalam melakukan prediksi diasumsikan waktu studi mahasiswa (lulus target pencapaian) masih belum diketahui.

Tabel 6. Contoh data mahasiswa

NIM	Jalur masuk	IPS 1	IPS 2	Asal Sekolah	Asal Kota	Lulus Target Pencapaian
2107011312xxxx	SNMPTN	3.21	3.64	Negeri	LUAR JAWA	YA

Perhitungan jika waktu studi benilai "YA" :

a. Atribut Jalur masuk
   Jalur masuk mahasiswa adalah "SNMPTN" dan kategori lulus target pencapaian "YA" maka nilai probabilitas yang dipakai adalah 60/237.
b. Atribut IPS 1
   Kategori yang dipakai adalah "YA", maka rata rata yang dipakai yaitu 3.11 dan standar deviasi senilai 0.439211437. Nilai "X" adalah 3.21

$$f(3.21) = \frac{1}{\sqrt{2(3.14)}(0.439211437)} e^{-\frac{(3.21-3.11)^2}{2(0.439211437)^2}}$$

$$f(3.21) = 0.885$$

c. Atribut IPS 2
   Kategori yang dipakai adalah "YA", maka rata rata yang dipakai yaitu 3.08 dan standar deviasi senilai 0.34414799. Nilai "X" adalah 3.6

$$f(3.21) = \frac{1}{\sqrt{2(3.14)}(0.34414799)} e^{-\frac{(3.64-3.08)^2}{2(0.34414799)^2}}$$

$$f(3.21) = 0.308$$

d. Asal Sekolah
   Asal sekolah adalah "Negeri" dan kategori lulus target pencapaian "YA" maka nilai probabilitas yang dipakai adalah 185/237.
e. Asal Kota
   Asal Kota adalah "LUAR JAWA" dan kategori lulus target pencapaian "YA" maka nilai probabilitas yang dipakai adalah 35/237.

ISBN 978-602-73461-8-5

Perhitungan jika waktu studi benilai "TIDAK" :

a. Atribut Jalur masuk
Jalur masuk mahasiswa adalah "SNMPTN" dan kategori lulus target pencapaian "TIDAK" maka nilai probabilitas yang dipakai adalah 9/32.

b. Atribut IPS 1
Kategori yang dipakai adalah "TIDAK", maka rata rata yang dipakai yaitu 3.01 dan standar deviasi senilai 0.501198. Nilai "X" adalah 3.21

$$f(3.21) = \frac{1}{\sqrt{2(3.14)}(0.501198)} e^{-\frac{(3.21-3.01)^2}{2(0.501198)^2}}$$
$$f(3.21) = 0.735$$

c. Atribut IPS 2
Kategori yang dipakai adalah "TIDAK", maka rata rata yang dipakai yaitu 2.77 dan standar deviasi senilai 0.610330423. Nilai "X" adalah 3.64

$$f(3.21) = \frac{1}{\sqrt{2(3.14)}(0.610330423)} e^{-\frac{(3.64-2.77)^2}{2(0.610330423)^2}}$$
$$f(3.21) = 0.237$$

d. Asal Sekolah
Asal sekolah adalah "Negeri" dan kategori lulus target pencapaian "TIDAK" maka nilai probabilitas yang dipakai adalah 27/32.

e. Asal Kota
Asal Kota adalah "LUAR JAWA" dan lulus target pencapaian "TIDAK" maka nilai probabilitas yang dipakai adalah 7/32.

Setelah didapatkan probabilitas setiap atribut, maka langkah selanjutnya adalah memasukkan probabilitas tersebut ke dalam rumus (2).
P(Y=YA|X) =237/269 * {60/237 * 0.885 * 0.308 * 185/237*35/237}/P(X) =0.007008676881/P(X)
P(Y=TIDAK|X) =32/269 * {9/32 * 0.735 * 0.237 * 27/32*7/32}/P(X) =0.001075691562/P(X).

Hasil probabilitas didapatkan dengan membagi kedua perhitungan dengan P(X), dimana P(X) merupakan bilangan yang bernilai konstan bagi kedua probabilitas. Dalam perhitungan ini nilai konstan P(X) akan diganti dengan menjumlahkan hasil perhitungan probabilitas "YA" dan "TIDAK" yaitu (0.007008676881+0.001075691562).

a. Probabilitas (lulus target pencapaian = YA)

$$\frac{0.007008676881}{0.007008676881+0.001075691562} = 0{,}867.$$

b. Probabilitas (lulus target pencapaian = TIDAK)

$$\frac{0.001075691562}{0.007008676881+0.001075691562} = 0{,}133.$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, probabilitas (lulus target pencapaian =YA) lebih tinggi dibandingkan probabilitas (lulus target pencapaian =TIDAK), sehingga prediksi lulus target pencapaian berdasarkan data yang diberikan adalah "YA". Hasil prediksi ini sesuai dengan kenyataan bahwa mahasiswa tersebut memiliki lulus target pencapaian "YA".

ISBN 978-602-73461-8-5

Dalam penelitian ini dilakukan prediksi yang memuat seluruh aribut serta prediksi dimana salah satu atribut dihilangkan untuk melihat pengaruh masing masing atribut terhadap hasil akurasi prediksi. Hasil akurasi prediksi dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekap hasil uji prediksi

Kombinasi atribut	Akurasi	Status
Prediksi seluruh atribut	95.6%	Lolos Uji
Prediksi tanpa atribut jalur masuk	94.5%	Lolos Uji
Prediksi tanpa atribut IPS 1	93.4%	Lolos Uji
Prediksi tanpa atribut IPS 2	94.5%	Lolos Uji
Prediksi tanpa atribut asal sekolah	94.5%	Lolos Uji
Prediksi tanpa atribut asal kota	94.5%	Lolos Uji

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa seluruh uji akurasi prediksi dinyatakan lolos uji karena melebihi akurasi 75%. Akurasi tertinggi adalah prediksi dengan menggunakan seluruh atribut. Hal ini membuktikan bahwa atribut jalur masuk, IPS 1, IPS 1, asal sekolah, dan asal kota berpengaruh dalam menentukan hasil prediksi waktu studi. Maka dari itu, pada tool dan implementasi prediksi untuk mahasiswa akan mengikutsertakan seluruh atribut tersebut.

3.3. Implementasi prediksi

Dalam penelitian ini, prediksi waktu studi diimplementasikan kepada 150 mahasiswa angkatan 2016. Dari 150 mahasiswa, 142 orang mendapat prediksi "YA" dan 8 orang mendapat prediksi "TIDAK". Hasil ini memprediksi bahwa sebanyak 142 mahasiswa angkatan 2016 akan lulus dengan masa studi kurang dari sama dengan 4 tahun 9 bulan dan sebanyak 8 orang akan lulus dengan masa studi lebih dari 4 tahun 9 bulan.

3.4. Tool prediksi

Dalam penelitian ini akan dibuat tool yang dapat mempermudah departemen dalam melakukan prediksi. Tool dapat digunakan setelah mahasiswa selesai menempuh semester kedua dan memasuki semester ketiga. Gambar 1 adalah tampilan dari tool yang dibuat dengan perantara microsoft excel.

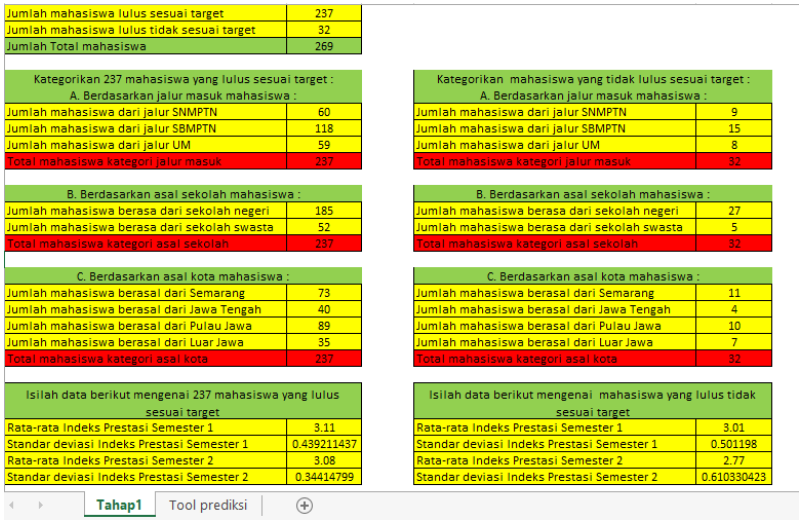
Nama	NIM	IPS 1	IPS 2	Asal Sekolah	Asal Kota	Prediksi
Ahmad	21070113120004	3.21	3.64	Negeri	JAWA TENGAH	YA
Sakti	21070113120005	3.37	3.91	Negeri	LUAR JAWA	YA
Kevin	21070113120006	3.53	3.91	Negeri	SEMARANG	YA

Gambar 1. Tampilan *tool* prediksi

Prosedur penggunaan *tool* prediksi:

1. Memastikan semua data telah lengkap. Data nama, NIM, IPS 1, dan IPS 2 dapat dilihat dalam database departemen, sedangkan data asal sekolah dan asal kota dapat dilihat dalam database Biro Administrasi Akademik (BAA).
2. Buka tab "Tahap1. Anda akan melihat tampilan seperti pada gambar 2. Anda diminta untuk mengisi semua kolom yang berwarna kuning. Kolom berwarna hijau adalah petunjuk dan informasi dalam melakukan pengisian. Kolom merah adalah jumlah total mahasiswa setiap kategori yang harus diikuti.

ISBN 978-602-73461-8-5



Jumlah mahasiswa lulus sesuai target	237
Jumlah mahasiswa lulus tidak sesuai target	32
Jumlah Total mahasiswa	269

Kategorikan 237 mahasiswa yang lulus sesuai target : A. Berdasarkan jalur masuk mahasiswa :	
Jumlah mahasiswa dari jalur SNMPTN	60
Jumlah mahasiswa dari jalur SBMPTN	118
Jumlah mahasiswa dari jalur UM	59
Total mahasiswa kategori jalur masuk	237

Kategorikan mahasiswa yang tidak lulus sesuai target : A. Berdasarkan jalur masuk mahasiswa :	
Jumlah mahasiswa dari jalur SNMPTN	9
Jumlah mahasiswa dari jalur SBMPTN	15
Jumlah mahasiswa dari jalur UM	8
Total mahasiswa kategori jalur masuk	32

B. Berdasarkan asal sekolah mahasiswa :	
Jumlah mahasiswa berasa dari sekolah negeri	185
Jumlah mahasiswa berasa dari sekolah swasta	52
Total mahasiswa kategori asal sekolah	237

B. Berdasarkan asal sekolah mahasiswa :	
Jumlah mahasiswa berasa dari sekolah negeri	27
Jumlah mahasiswa berasa dari sekolah swasta	5
Total mahasiswa kategori asal sekolah	32

C. Berdasarkan asal kota mahasiswa :	
Jumlah mahasiswa berasal dari Semarang	73
Jumlah mahasiswa berasal dari Jawa Tengah	40
Jumlah mahasiswa berasal dari Pulau Jawa	89
Jumlah mahasiswa berasal dari Luar Jawa	35
Total mahasiswa kategori asal kota	237

C. Berdasarkan asal kota mahasiswa :	
Jumlah mahasiswa berasal dari Semarang	11
Jumlah mahasiswa berasal dari Jawa Tengah	4
Jumlah mahasiswa berasal dari Pulau Jawa	10
Jumlah mahasiswa berasal dari Luar Jawa	7
Total mahasiswa kategori asal kota	32

Isilah data berikut mengenai 237 mahasiswa yang lulus sesuai target	
Rata-rata Indeks Prestasi Semester 1	3.11
Standar deviasi Indeks Prestasi Semester 1	0.439211437
Rata-rata Indeks Prestasi Semester 2	3.08
Standar deviasi Indeks Prestasi Semester 2	0.34414799

Isilah data berikut mengenai mahasiswa yang lulus tidak sesuai target	
Rata-rata Indeks Prestasi Semester 1	3.01
Standar deviasi Indeks Prestasi Semester 1	0.501198
Rata-rata Indeks Prestasi Semester 2	2.77
Standar deviasi Indeks Prestasi Semester 2	0.610330423

Tahap1 Tool prediksi

Gambar 2. Tampilan tab "Tahap1"

3. Setelah selesai mengisi tab "Tahap1" silahkan berpindah ke tab "Tool Prediksi".
4. Silahkan masukkan nama, IPS 1 dan IPS 2 mahasiswa yang hendak dilakukan prediksi.
5. Silahkan masukkan data asal sekolah. Data ini terdapat dalam database BAA dan berbentuk nama sekolah mahasiswa. Ketika mengisi atribut asal sekolah, terdapat 2 pilihan dalam memasukkan data yaitu negeri atau swasta. Pilih asal sekolah sesuai kategori dari sekolah mahasiswa terkait
6. Silahkan masukkan data asal kota. Data ini terdapat dalam database BAA dan berbentuk nama asal kota sekolah masing masing mahasiswa. Ketika mengisi atribut asal kota, terdapat 4 pilihan dalam memasukkan data. Kategori "SEMARANG" untuk mahasiswa yang berasal dari Semarang, kategori "JAWA TENGAH" adalah bagi mahasiswa yang berasal dari provinsi Jawa Tengah selain Semarang. Kategori "Pulau Jawa" adalah bagi mahasiswa yang berasal dari pulau Jawa tetapi tidak dari Jawa Tengah atau Semarang. Kategori "LUAR JAWA" adalah bagi mahasiswa yang berasal dari luar pulau Jawa.
7. Setelah memasukkan data, maka dalam kolom "prediksi" akan menampilkan kata "YA" atau "TIDAK". Kata "YA" berarti mahasiswa tersebut diprediksi akan lulus dalam waktu kurang dari sama dengan 4 tahun 9 bulan. Kata "TIDAK" berarti mahasiswa tersebut diprediksi akan lulus dalam waktu lebih dari 4 tahun 9 bulan.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Dalam penelitian ini didapatkan hasil prediksi tertinggi dengan akurasi 95,6%. Hal ini membuktikan bahwa atribut jalur masuk mahasiswa, indeks prestasi semester pertama dan kedua, asal sekolah, dan asal kota memengaruhi waktu studi mahasiswa. Berdasarkan hasil prediksi yang dilakukan pada mahasiswa angkatan 2016 didapatkan hasil bahwa 8 mahasiswa memiliki potensi untuk lulus dengan masa studi melebihi 4 tahun 9 bulan. *Tool* dapat membantu dilakukannya prediksi masa studi mahasiswa. Tool berbentuk spreadsheet dan dapat digunakan pada seluruh versi *microsoft excel*.

4.2. Saran

Saran yang dapat disampaikan penulis untuk pengembangan penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mencoba memasukkan atribut-atribut lain selain dari atribut yang telah digunakan.

ISBN 978-602-73461-8-5

2. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat memperbanyak data yang digunakan baik data training maupun data uji
3. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mencoba menggunakan metode lain untuk melakukan prediksi guna mencari akurasi yang lebih baik.

Daftar Pustaka

Adejo, O. W., & Connolly, T. (2018). Predicting student academic performance using multi-model heterogeneous ensemble approach. Journal of Applied Research in Higher Education Vol.10, 61-75.

Bustami. (2014). Penerapan Algoritma Naive Bayes Untuk Mengklasifikasi Data Nasabah Asuransi. Jurnal Informatika Vol. 8, 884-898.

Kaur, P., Singh, M., & Josan, G. S. (2015). Classification and Prediction Based Data Mining Algorithms to Predict Slow Learners in Education Sector. *3rd International Conference on Recent Trends in Computing*, 500-508.

Kotu, V., & B. D. (2015). Predictive Analytics and data Mining. Waltham: Morgan Kauffman.

Syarli, & Muin, A. A. (2016). Metode Naive Bayes Untuk Prediksi Kelulusan (Studi Kasus : Data Mahasiswa Baru Perguruan Tinggi). Jurnal ilmiah ilmu komputer Vol. 2.

Witten, I. H., Frank, E., Hall, M. A., & Pal, C. J. (2016). Data Mining Practical Machine Learning

ISBN 978-602-73461-8-5

The Optimization Models for Shipping Allocation and Transportation within a Sago-Starch Supply Chain

Syamsul Anwar
Department of Agro-Industrial Logistic Management, Polytechnic of ATI Padang
Jalan Bungo Pasang, Tabing, Padang 25171, West Sumatera, Indonesia,
Phone. 0751-7055053
E-mail: syamsul-a@kemenperin.go.id

Abstract

A sago corporation manages the shipping allocation and transportation of sago-starch. The dried sago-starch is transported from sago-mills (suppliers) to a hub for further shipping to a distant seaport. An efficient logistic will make a company keep competitive in the market. This paper presents an approach of mathematical modeling for shipping allocation and transportation within a two-stages of sago-starch supply chain. The study investigated the product flow of sago-mills (suppliers) – a vessel (hub) – a destination seaport. The 0-1 knapsack problem (KP) model is developed to maximize the total value of product that loaded into the shipping vessel. The mixed-integer linear programming (MILP) model is developed to minimize the total cost of system. Several determined assumptions including deterministic, linear, short-term periods, fixed arrival time of vessel, lot merge option for suppliers which located in the same zone, and related others. The optimal solution is obtained by implementing the branch-and-bound method. The models provide the optimum decisions including the shipping allocation from sago-mills to vessel (as a hub), type of vessel (capacity), and level of inventory at the supplier's warehouse. Both models act as complement each other and useful in the verification process. The results of the study provide a decision support tool for decision-makers in order to efficiently manage the shipping allocation and transportation in the sago-starch supply chain.

Key words: shipping allocation, transportation, sago-starch, supply chain

1. Introduction

Indonesia is the biggest sago producer in the world (Ahmad, 2014). The starch that contained in the sago palm mainly utilized by the food industries like vermicelli, glass noodles, and various traditional foods (Jong, 2018; Hamidi and Elida, 2018). There are several primary activities are involved in the sago value chain including plantation, harvesting, starch processing, and transportation (Wan et al., 2016). The Meranti Island regency of Riau province has a large contribution to sago-starch production. The existing industry generally classified as a small business scale which produces dried and wet sago-starch (Hamidi and Elida, 2018). The sago-mills are widely spread near the river banks and straits in the districts of Meranti Island regency. The hub of sago-starch distribution is located at Selat Panjang which most of the product is delivered to the seaport of Cirebon. (Metaragakusuma et al., 2017; Jong, 2018). The sago corporation (SC) manages 43 members (sago-mill). The SC manages the distribution and marketing of dried-sago starch to buyers or distributors in Cirebon.

Recently, there is an increase in product competition in the sago-starch market. There are competitors which offer the product at a lower price. The long distance from sago-mills (suppliers) to destination port (buyer) makes efficiency in logistics system is a must. The efficiency of the logistic process is important to be improved in order to achieve the

ISBN 978-602-73461-8-5

competitiveness. Transportation is a significant component of the costs incurred by most supply chains (Chopra and Meindl 2013). An efficient shipping management helps to minimize the logistic cost of the sago-starch supply chain. In the shipment problem, the decision making involves a trade-off between transportation and inventory costs (Chopra and Meindl 2013).

There are several studies on the shipment and transportation problem. Bilgen and Ozkarahan (2007) developed an optimization model for bulk grain blending and shipping. Aydinel et al. (2008) developed the production allocation and transportation model in a forest products company. Farahani et al. (2009) developed an optimization model for wheat storage and transportation. Chiadamrong and Kawtummachai (2009) developed a model for warehouse and distribution management in the export channel of Thai sugar industry. Most of them employed the mixed-integer linear programming (MILP) to formulate the problem in a medium horizon planning and tactical decision level.

This study developed the mathematical modes for shipping allocation and transportation within a sago-starch supply chain. The study contributes to the application of optimization models in a real case sago-starch supply chain. The problem is formulated to the 0-1 knapsack problem (KP) and the MILP model.

2. Methods

The problem is raised from a real situation from the dried sago-starch supply chain in the Meranti Island Regency, Riau. The required data is collected from the company documents and interview results with a manager of a sago corporation. The problem is formulated by the 0-1 KP and MILP model. The Lingo optimization solver is employed to find out the optimal solutions.

In a KP model, the problem is to find a subset of items to be included in a knapsack that maximizes the total value of load without exceeding the capacity of the knapsack (Lindo 2016). The cargo-loading problem chooses an optimal subset of available products for shipping. In the theory of optimization, this task is categorized under a special class of problems, called knapsack problems (Zapfel et al. 2010). In Prasetiyowati and Wicaksana (2013), the 0-1 knapsack problem (KP) model is formulated as:

$$Maximize \ \sum_{i=1}^{n} v_i x_i \quad \text{..... (1)}$$

$$Subject\ to \ \sum_{i=1}^{n} w_i x_i \leq W \qquad x_i \in \{0,1\} \quad \text{.....(2)}$$

Where v_i denotes the value of item-i, x_i represents a binary variable (1: if item-i is selected ; 0: otherwise), and w_i denotes the weight of item-i. In this case study, the KP model is used to maximize the loaded product into a shipping vessel.

Whereas the MILP model is an extension of basic linear programming (LP). It is defined by a linear objective function of the variables to optimize, some of which assume integer values, and a set of linear (equality or inequality) constraints (Borghetti et al. 2011). The popularity of MILP because of its rigorousness, flexibility and extensive modeling capability (Floudas and Lin 2005). The MILP model could be solved by several methods which one of them is the Branch-and-Bound (B&B). It is an enumerative approach which the "branching" refers to the enumeration part of the solution technique. Whereas the bounding refers to the fathoming of possible solutions by comparison to a known upper or lower bound on the solution value (Genova and Guliashki 2011). In this case, the MILP model is used to minimize the total cost of system.

ISBN 978-602-73461-8-5

3. Results and Discussions

The problem description is illustrated in Figure 1. The system boundary of this study is pointed by an oval dashed line circle in Figure 2.

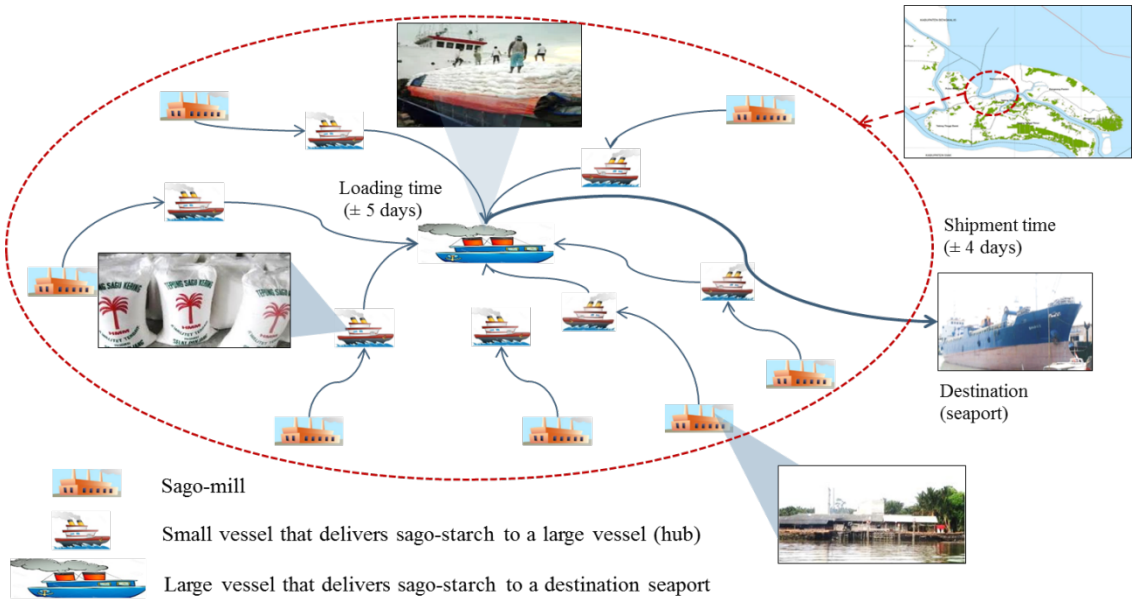


Figure. 1. Shipment and transportation of sago-starch

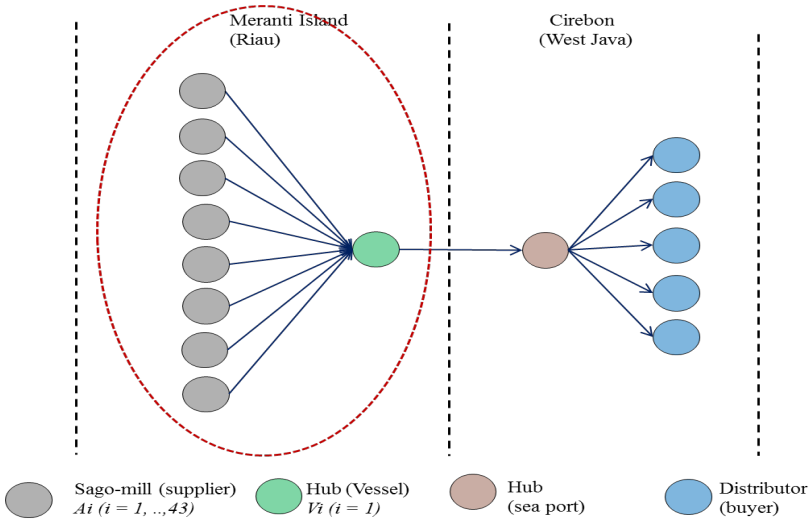


Figure. 2. System boundaries

3.1. The problem formulation by the 0-1 Knapsack problem (KP) model

This section consists of assumptions, parameters, decision variables, and mathematical model as follows:

Assumptions:

a. The production level of sago-mills (suppliers) is determined based on the distributor's demand.
b. One time period is 10-days (based on the arrival time of large vessel).

ISBN 978-602-73461-8-5

c. A large vessel is available at the hub in one period. Transportation from a hub to a destination port is done by a single voyage in one period.
d. The quantity of shipping is at least 1 lot unit (where 1 lot is equal to 26 tons).
e. The large vessel is provided by the third party. There are 3 types of vessel available (loading capacity: 38, 57, 76 lots).
f. Each of sago-mill (supplier) has a warehouse facility and its maximum capacity is known.
g. Single product (dried-sago starch)
h. Due to quality considerations, the shipping priority on the next period is given to suppliers who has inventory in the warehouse.
i. The selling value of products from suppliers is based solely on product quality.
j. The suppliers which located in the same district zone has the same quality of their product, but the quality level is different among zones.
k. The planning horizon is one month which divided into 3 periods (10-days). The optimization is carried out by every single period rather than simultaneously.
l. There is no inventory on the initial planning period.
m. Lot merge option is allowed based on the same zone and product characteristics.

Sets and indices:

I	set of supplier, $i \in I$

Parameters:

S_i	The production capacity of supplier-*i* (in lot unit)
$Capv$	The maximum capacity of large vessel (in lot unit)
$Capw_i$	The maximum capacity of warehouse at supplier-*i* (in lot unit)
v_i	The selling price of product by supplier-*i* (in Rp)
O_j	The type I inventory due to the production (stock) quantity does not reach the minimum lot (in lot unit)

Variables:

Y_i	Equal to 1 if supplier-*i* is selected for supplying, otherwise is 0 (binary variables)
X_i	The amount of product that delivered from supplier-*i* to a hub (in lot unit)
I_i	The type II inventory at supplier-*i* (due to supplier-*i* is not selected to supply) (in lot unit)

Mathematical model:

Objective function:

$$Max\ Z = \sum_{i \in I} v_i X_i \quad (3)$$

Subject to:

$$\sum_{i \in I} S_i Y \leq Capv \qquad i \in I \qquad Y_i \in \{0,1\} \quad (4)$$

$$S_i Y_i = X_i \qquad i \in I \qquad Y_i \in \{0,1\} \quad (5)$$

$$S_i - X_i = I_i \qquad i \in I \quad (6)$$

$$O_i + I_i \leq Capw_i \qquad i \in I \quad (7)$$

$$X_i \geq 0,\ I_i \geq 0 \quad (8)$$

The objective function (3) is formulated to maximize the total value of product that loaded onto a shipping vessel. Constraint (4) ensures that the amount of the loaded products should not surpass the vessel's capacity. Equation (5) determines the quantity of product that shipped by each of supplier to the vessel (hub). Equation (6) determines the quantity of product that stored at the supplier's warehouse (if the value is a positive number, it indicates a canceled shipment). Constraint (7) enforces that the total inventory should not

ISBN 978-602-73461-8-5

exceed the warehouse's capacity of the supplier-*i*. Finally, constraint (8) ensures that the shipped and stored products (due to canceled shipment) are equal to or bigger than zero.

3.2 The problem formulation by the mixed integer linear programming (MILP) model

This section consists of assumptions, parameters, decision variables, and mathematical model as follows:

Assumptions

The MILP model has the same assumptions as before. There are several additional assumptions as pointed follows:

a. Inventory (holding) cost per lot product at each supplier is known
b. Transportation costs from supplier to hub follow a linear function of the distance.
c. The loading costs are considered equal for all supplier
d. The holding costs are considered equal for all supplier's areas
e. All costs considered equal in different periods.

Sets and indices:

I	The set of supplier, $i \in I$
V	The set of vessel, $v \in V$

Parameters:

S_j	The production capacity of supplier-*i* (in lot unit)
Cap_v	The maximum capacity of shipping vessel-*v* (in lot unit)
$Capw_i$	The maximum capacity of warehouse at supplier-*i* (in lot unit)
Tsh	The transportation cost from supplier location to a hub (in Rp/km/lot unit)
C_v	The transportation cost from the hub to destination a seaport by vessel-*v* (in Rp/trip)
Ls	The loading cost at supplier (in Rp/lot)
Th	The transferring cost at hub (in Rp/lot)
H_i	The holding cost at warehouse of supplier-*i* (in Rp/lot)
d_i	The distance of supplier-*i* to a hub (in km)
O_j	The amount of inventory due to the production (stock) quantity does not reach the minimum lot (in lot unit)

The variables:

Y_i	Equal to 1 if supplier-*i* is selected for supplying, otherwise is 0 (binary variables)
X_i	The amount of product that delivered from supplier-*i* to a hub (in lot unit)
W_v	Equal to 1 if large vessel-*v* is selected for shipping the product to a destination seaport, otherwise is 0 (binary variables)
I_j	The amount of inventory at supplier-*i* (due to supplier-*i* is not selected to supply) (in lot unit)

Mathematical model:

Objective function:

$$Min\ Z = \sum_{i\in I} d_i Tsh X_i + \sum_{i\in I} Ls X_i + \sum_{i\in I} Th X_i + \sum_{i\in I} H_i(O_i + I_i) + \sum_{v\in V} C_v W_v \quad \text{.....(9)}$$

Subject to:

$$X_i = S_i Y_i \qquad i \in I \qquad Y_i \in \{0,1\} \quad \text{..... (10)}$$

$$\sum_{i\in I} X_i = \sum_{v\in V} Cap_v W_v \qquad W_v \in \{0,1\} \quad \text{..... (11)}$$

ISBN 978-602-73461-8-5

$I_i = S_i - X_i \qquad i \in I$ ..... (12)
$O_i + I_i \leq Capw_i \qquad i \in I$ .....(13)
$X_i \geq 0,\ I_i \geq 0$ .....(14)

The first-term in the objective function (9) is total transportation cost from suppliers to a hub. The second-term is total loading cost at the supplier. The third-term is total transferring cost at the hub. The fourth-term is total inventory cost (both type I and II). The fifth-term is total transportation cost from the hub to a destination port. Equation (10) determines the quantity of product that shipped by each supplier to the vessel (hub). Constraint (11) ensures that the amount of the loaded products should not surpass the vessel's capacity. Equation (12) determines the quantity of product be stored at the supplier's warehouse (if the value is a positive number, it indicates a canceled shipment). Constraint (13) enforces that total inventory should not surpass the warehouse's capacity of supplier. Finally, constraint (14) ensures the shipped and stored product (due to the canceled shipment) is equal to or bigger than zero.

In this case, the sago-starch supply chain consists of 43 sago-mills (suppliers), a hub, and a destination seaport. The involved suppliers and several parameters are presented in Table 1.

Table 1. Suppliers and related parameters

No	Supplier (Sago-mill)	Location (District)*	Production (tons/ month)	Production (lots/ month)	Price (in million Rp/ton)
1	AK	TT	130.00	5.00	120
2	ER	TT	104.00	4.00	120
3	HE	TT	130.00	5.00	120
4	SK	TTB	130.00	5.00	125
5	EM	TTB	104.00	4.00	125
6	KO	TTB	78.00	3.00	125
7	MM	TTB	39.00	1.50	0
8	SD	TTB	26.00	1.00	0
9	SA	TTB	130.00	5.00	125
10	BU	TTB	71.45	2.75	125
11	RU	TTB	77.95	3.00	125
12	AA	TTB	78.00	3.00	125
13	AZ	TTB	78.00	3.00	125
14	SL	TTB	104.00	4.00	125
15	SR	TTB	78.00	3.00	125
16	LE	TTB	182.00	7.00	125
17	LA	TTB	130.00	5.00	125
18	PG	TTB	71.50	2.75	0
19	SY	TTB	26.00	1.00	0
20	AG	TTB	130.00	5.00	125
21	DW	TTT	52.00	2.00	0
22	KR	TTT	130.00	5.00	130
23	KA	TTT	130.00	5.00	130
24	ES	TTT	156.00	6.00	130
25	MU	TTT	78.00	3.00	130
26	AS	TTT	130.00	5.00	130
27	WJ	TTT	208.00	8.00	130
28	WS	TTT	156.00	6.00	130
29	JL	TTT	0.00	0.00	0

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Supplier (Sago-mill)	Location (District)*	Production (tons/ month)	Production (lots/ month)	Price (in million Rp/ton)
30	MT	R	0.00	0.00	0
31	SJ	R	26.00	1.00	0
32	KS	RB	52.00	2.00	117
33	AM	RP	26.00	1.00	0
34	EY	RP	26.00	1.00	0
35	LH	M	156.00	6.00	122
36	RS	M	182.00	7.00	122
37	SG	M	156.00	6.00	122
38	TI	M	181.95	7.00	122
39	HI	M	78.00	3.00	122
40	AL	TPP	26.00	1.00	0
41	SC	TPP	0.00	0.00	0
42	MS	TPP	39.00	1.50	120
43	SB	TPP	26.00	1.00	0
Total	**80**	**2,115**			

*Distric name is coded

Both models are solved by the Lingo 11.0 solver. The 0-1 KP model contains 128 variables including 43 integer variables and 131 constraints. Whereas the MILP model contains 132 variables including 46 integer variables and 131 constraints. Both models are feasible and the optimal solutions are obtained by implementing the Branch-and-Bound method. The summary of variable values is presented in Table 2 as follows.

Table 2. Summary of optimal solutions from both models

Measures	Category	Unit	0-1 KP model			MILP model		
			Period -1	Period -2	Period -3	Period -1	Period -2	Period -3
Total inventory (type I), O_i	Parameter	Lot	3.17	3.33	2.49	3.17	2.33	1.50
Total prod.cap.of supply, S_i	Parameter	Lot	47.00	59.00	53.00	47.00	60.00	54.00
Selected vessel, type-v	Variable	Index	I	II	I	I	II	1
Selected vessel capacity	Parameter	Lot	38.00	57.00	38.00	38.00	57.00	38.00
No. of selected supplier, Y_i	Variable	Unit	23	36	21	23	32	21
Loaded product, X_i	Variable	Ton	38.00	57.00	38.00	38.00	57.00	38.00
Loaded capacity onto the vessel	Ratio	%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Total inventory (type II), I_i	Variable	Ton	9.00	2.00	15.00	9.00	3.00	16.00
Total inventory, $(O_i + I_i)$	Variable	Ton	12.17	5.33	17.49	12.17	5.33	17.50
Total value , Z	Variable	Million Rp	4,644.0	7,119.0	4,885.0	-	-	-
Total cost, Z	Variable	Million Rp	-	-	-	298.64	436.76	308.90

The 0-1 KP model produces the maximum value of the loaded product onto the shipping vessel, while the MILP model produces the minimum total cost. The solutions of both models indicate operational decisions including product shipping allocation from suppliers to a hub, selected vessel type to transport product from the hub to a destination seaport, and inventory level at the supplier's warehouse. Due to considerations of product quality, the shipment priority is given to suppliers which have inventory status at the end of each period. However, when the priority is applied to the model, the total cost becomes

ISBN 978-602-73461-8-5

less optimal. In the 0-1 KP model, there are 23, 36, and 21 selected suppliers in period 1, 2, and 3. While in the MILP model, there are 23, 32, and 21 selected suppliers in period 1, 2, and 3. Both models are helpful in the verification process and provide alternatives for the decision maker.

4. Conclusions

The study has developed the 0-1 KP and MILP model to optimize the shipping allocation and transportation in the sago-starch supply chain. This study points out the practical contribution of optimization models in solving a real problem of supply chain. The proposed models will aid the decision makers for efficiently managing the shipping of sago-starch product. However, the developed mathematical model contains several limitations such as linear function, deterministic, and two-stage supply chain. The future studies should cover non-linear condition, stochastic, the extension of system's boundary, and development of decision support system.

References

Ahmad, M. 2014. Farmer Empowerment to Increase Productivity of Sago (Metroxylon sago spp) Farming, *International Journal of Advanced Science Engineering and Technology,* Vol. 4 No. 3 pp. 5–9.

Aydinel, M., Sowlati, T., Cerda, X., Cope, E., and Gerschman, M., 2008, Optimization of Production Allocation and Transportation of Customer Orders for a Leading Forest Products Company, *Mathematical and Computer Modeling*, Vol. 48 pp. 1158–1169.

Bilgen, B., and Ozkarahan, I., 2007, A Mixed-Integer Linear Programming Model for Bulk Grain Blending and Shipping, *International Journal of Production Economics Modeling*, Vol. 107 No. 2 pp. 555–571.

Borghetti, A., Paolone, M., and Nucci, C.A., 2011, A Mixed Integer Linear Programming Approach To The Optimal Configuration Of Electrical Distribution Networks With Embedded Generators, *The 17th Power Systems Computation Conference*, Stockholm: August 22-26, Sweden.

Chiadamrong, N., and Kawtummachai, R., 2008, A Methodology to Support Decision-Making on Sugar Distribution for Export Channel: A Case Study of Thai Sugar Industry, *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 64 No. 2 pp. 248–261.

Chopra S, and Meindl, P., 2013, *Supply Chain Management, Strategy, Planning, and Operation*. 5th Edition. Pearson Education Limited, Essex. England, UK.

Farahani, R. Z., Asgari, N., Hojabri, H., and Jaafari, A. A. 2009, Optimizing Wheat Storage and Transportation System using a Mixed Integer Programming model and Genetic Algorithm: A Case Study. In *Industrial Engineering and Engineering Management* (*IEEM*). *IEEE International Conference*. pp. 2109–2113.

Floudas, C.A., and Lin, X. 2005, Mixed Integer Linear Programming in Process Scheduling: Modeling, Algorithms, and Applications, *Annals of Operations Research*, Vol. 139 pp. 131–162.

Genova, K., and Guliashki, V., 2011, Linear Integer Programming Methods and Approaches – A Survey, *Bulgarian Academy of Sciences*, Vol. 11 No.1 pp. 3–25.

Hamidi, W., and Elida, S., 2018, Analysis of Value Added and Development Strategy of Public Sago Agroindustry Business in Kepulauan Meranti Regency, *International Journal of Science and Technology Research*, Vol. 7 No. 2 pp. 94–99.

Jong, F.S., 2018, An Overview of Sago Industry Development 1980s–2015. Ehara, H., Toyoda Y., and Johnson, D.V. (Eds) in *Sago Palm: Multiple Contributions to Food Security and Sustainable Livelihoods*. Singapore: Springer.

ISBN 978-602-73461-8-5

Lindo System Inc. 2016. *LINGO: The Modeling Language and Optimizer*. Lindo System Inc. Chicago, Illinois, USA

Metaragakusuma, A.P., Katsuya O., and Bai H., 2017, The Current Status of Sago Production in South Sulawesi: Its Market and Challenge as a New Food-Industry Source. *International Journal of Sustainable Future Human Security*, Vol. 5 No. 1 pp. 32–46.

Prasetiyowati, M.I., and Wicaksana, A., 2013, Implementasi Algoritma Dynamic Programming untuk Multiple Constraints Knapsack Problem (Studi Kasus: Pemilihan Media Promosi di UMN), *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI),* Vol. 48 No. 3 pp. E6–E13.

Wan, Y.K., Ng, R.T.L., Ng, D.K.S., Aviso, K.B., and Tan, R.R., 2016. Fuzzy Multi-Footprint Optimisation (FMFO) for Synthesis of a Sustainable Value Chain: Malaysian Sago industry. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 128 pp. 62–76.

Zapfel, G., Braune, G.R., and Bogl, M., 2010, *Metaheuristic Search Concepts: to Production and Logistics A Tutorial with Applications,* 3rd Ed.*,* Springer, Berlin.

ISBN 978-602-73461-8-5

A Study of Pollution Routing Problem

Syarif Al Fajrin, Fu-Kwun Wang, Nur Aini Masruroh
Industrial Engineering Postgraduate Program,
Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
Email: syarif.al.f@mail.ugm.ac.id

Abstract

Logistics management is the management of the flow of goods, information and other resources including energy and people from supplier to the customer. Transportation cost is the costliest in logistics, followed by inventory cost, warehousing cost, packing cost, management cost, material handling cost and ordering cost. Transportation cost can be reduced by optimizing the sequence of vehicle route. This problem about optimizing vehicle route is generally known as vehicle routing problem. Pollution routing problem (PRP) is an extension of the traditional VRP which consider the transportation impacts to the environment represented by pollution cost. PRP research based on assumption that pollution emitted by a vehicle depends on vehicle load and speed among other factors. Since it is introduced, some researches have been conducted to see another variant of PRP. This research aims to study the PRP as a variant of VRP with Time Windows constraint (VRPTW) and see the effect of variations of speed to the solutions of PRP. The PRP model are used to solve distribution problem in United Kingdom with sets of single depot and 10 cities involved as the customers.

Keywords: Pollution cost, pollution routing problem, vehicle load and speed.

1. Introduction

Due to the trend of nationalization and globalization in recent decades, the importance of logistics management has been growing more and more in various areas. Logistics management can be described as the management of the flow of goods, information and other resources including energy and people from supplier to the customer. Logistics management plans, implements, and controls the efficient, effective forward and reverses flow and storage of goods, services and related information between the point of origin and the point of consumption in order to meet customers' requirements (Council of Supply Chain Management Professionals Glossary). Transportation makes product possible to move from the location they are produced to the end customer location which are usually separated by some distance.

Transportation cost is the highest cost in logistics costs which occupies around 29% from the total costs followed by inventory cost, warehousing cost, packing cost, management cost, material handling cost and ordering cost (Tseng et al., 2005). Transportation cost can be reduced by optimizing the sequence of vehicle route. This problem about optimizing vehicle route is generally known as vehicle routing problem.

The vehicle routing problem (VRP) is a combinatorial optimization and integer programming problem which concerns the distribution of goods between depots and customers. VRP was first introduced by Dantzig and Ramser (1959). Several decades after the introduction, many models and algorithms have been proposed for the optimal and approximate solution of the different versions of the VRP so that it can represent more to the real-life system.

ISBN 978-602-73461-8-5

Bektas and Laporte (2011) proposed the pollution routing problem (PRP), which is the extension of the traditional VRP. They stated that transportation has hazardous impacts to the environment such as resource consumption, land use, acidification, toxic effects on ecosystems and humans, noise, and the effect induces by Greenhouse Gas (GHG) emissions (Knörr, 2008). One of the widely-used transportation modes is road transportation, which is a significant emitter of carbon dioxide (CO_2). CO_2 emissions are the most concerning among GHG emissions because they may have direct consequences on human health and also contribute to depletion of ozone layer. Transport sector in the United Kingdom is responsible for 26.9% of the CO_2 emission, which is the largest emitting sector in the country (Department for Business, Energy and Industrial Strategy of UK, 2018). Similarly, in United States, percentage of total GHG emissions from transportation increase from 24.9% to 27.3% only in 15 years from 1990 to 2005 (Ohnishi, 2008), and it has increased to 28.5% in 2016 (United States Environmental Protection Agency, 2018), with road transportation accounting for 78% of the emission produced by all transportation modes. Growing concerns about such hazardous effects from transportation on the environment call for improvements in the road transportation sector to reduce such negative impacts.

Table 1 United Kingdom 2016 Greenhouse Gas Emissions by Sector (Department for Business, Energy and Industrial Strategy of UK, 2018)

Sector	Amount of CO_2 emission (million tonnes)	Percentage
Transport	125.8	26.9%
Energy supply	120.2	25.7%
Business	81.5	17.4%
Residential	69.8	14.9%
Agriculture	46.5	9.9%
Waste management	19.9	4.3%
Industrial processes	10.5	2.3%
Public	8.2	1.7%
Land use, land use change and forestry	-14.6	-3.1%
Total	467.9	100.0%

Table 1 above shows that transport and energy supply are the sectors that dominates the amount of CO_2 emitted to environment based on data from Department of Business, Energy and Industrial Strategy of UK, with transport sector produce the highest percentage of CO_2 emission.

Since the introduction of pollution routing problem, many researches have been conducted to develop other variations of PRP for a better representation of real life system. This study aims to learn about PRP and mathematical model used to solve the problem. The study wants to show the optimization of vehicle routing with the consideration of economic and environmental costs in a pollution-routing problem.

2. Method

2.1 Research Tools

This research was conducted with CPLEX 12.8. The computer used for the research is built with Intel Core i7-7700 CPU 3.60 GHz processor with 8 GB of RAM. Computer

ISBN 978-602-73461-8-5

specification stated because it can affect the computation time, different computer specification may need different computation time.

2.2 Mathematical Model

Mathematical model used for this study is the PRP model presented by Demir et al. (2012) which is also used in Lathifah (2015) as follows.

$$\text{Minimize } \sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N} kNVf_c\lambda d_{ij}\sum_{r=1}^{R} x_{ij}^r / v_r + \sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N} w\gamma\lambda\alpha_{ij}d_{ij}z_{ij}f_c + \sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N}\gamma\lambda\alpha_{ij}d_{ij}f_{ij}f_c + \sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N}\beta\gamma\lambda f_c d_{ij}\sum_{r=1}^{R} x_{ij}^r (v^r)^2 + \sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N} f_d s_j \quad \text{.....(1)}$$

Constraints:

$$\sum_{j=0}^{N} z_{0j} \le m \quad \text{.....(2)}$$

$$\sum_{j=0}^{N} z_{ij} = 1 \qquad \forall i \in N_o \quad \text{.....(3)}$$

$$\sum_{i=0}^{N} z_{ij} = 1 \qquad \forall j \in N_o \quad \text{.....(4)}$$

$$\sum_{r=1}^{R} x_{ij}^r = z_{ij} \qquad \forall (i,j) \in A \quad \text{.....(5)}$$

$$\sum_{j=0}^{N} f_{ji} - \sum_{j=0}^{N} f_{ij} = q_i \qquad \forall i \in N_o \quad \text{.....(6)}$$

$$q_i z_{ij} \le f_{ij} \le (Q - q_i) z_{ij} \qquad \forall (i,j) \in A \quad \text{.....(7)}$$

$$y_i - y_j + t_i + \sum_{r=1}^{R} d_{ij} x_{ij}^r / v^r \le K(1 - z_{ij}) \quad \forall i \in N, \forall j \in N_o, i \ne j \quad \text{.....(8)}$$

$$y_j + t_j - s_j + \sum_{r=1}^{R} d_{j0} x_{j0}^r / v^r \le K(1 - z_{j0}) \qquad \forall j \in N_o \quad \text{.....(9)}$$

$$a_i \le y_i \le b_i \qquad \forall i \in N_o \quad \text{.....(10)}$$

$$0 \le s_j \le T_{\max} \qquad \forall j \in N_o \quad \text{.....(11)}$$

$$x_{ij}^r \in \{0,1\} \qquad \forall (i,j) \in A, \forall r \in R \quad \text{.....(12)}$$

$$z_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall (i,j) \in A \quad \text{.....(13)}$$

$$f_{ij} \ge 0 \qquad \forall (i,j) \in A \quad \text{.....(14)}$$

$$y_i \ge 0 \qquad \forall i \in N_o \quad \text{.....(15)}$$

where:

ISBN 978-602-73461-8-5

k = engine friction factor (kJ/rev/L)
N = engine speed (rev/s)
V = engine displacement (L)
f_c = fuel and CO_2 emissions cost (£/L)
w = vehicle curb-weight (kg)
λ = constant related to fuel computed as $\lambda=\xi/\kappa\psi$
d_{ij} = distance between node i and j
x_{ij}^r = binary variable for speed level r
v^r = vehicle speed (m/s)
γ = constant related to fuel computed as $\gamma=1/1000\eta_{tf}\eta$
α = vehicle-arc specific constant, $\alpha = \tau + g\sin\theta + g\ C_r\cos\theta$
z_{ij} = binary variable for the arc
f_{ij} = amount of load carried by vehicle from i to j
β = vehicle-specific constant, $\beta = 0.5C_d\rho A$
f_d = driver wage (£/s)
s_j = total driving time (s)
m = amount of available vehicle
Q = capacity of the vehicle (kg)
y = time of arrival in a node (s)
t = service time (s)
K = large number to enforce the time window restrictions
a = start of the time window
b = end of the time window
T_{max} = maximum driving time (s)

This model works with the discretized speed level. It is defined by R speed levels where r = 1,...,R, and v^r = {15.33, 16.44, 17.48, ..., 25} m/s. Binary variables x_{ij}^r take the value of 1 if arc (i, j) appears in the route using vehicle at speed r, otherwise zero. Binary variables z_{ij} take the value of 1 if vehicle visits from node i to node j, otherwise zero. Objective function (1) is total pollution cost implied by variation in lower speed, total vehicle curb weight cost, total load carrier cost, variation in high speed, and the vehicle variable cost caused by distance travelled. This model has several constraints related to the VRPTWs. Constraint (2) shows the number of available vehicles. Constraints (3) and (4) ensure that nodes can only be visited once in a route. Constraints (5) guarantees only one vehicle and only one vehicle speed level r in each arc. Constraints (6) and (7) state the amount of demand and capacities restriction. Constraints (8) – (11) are the time window restrictions, where K is a large number to deal with time windows.

3. Results

3.1 Simulation

In previous researches about pollution routing problem, we can find some parameters that can be used to solve PRP. These parameters often used in various research about PRP as it facilitated the researcher to make use of it. These parameters suggested by Demir et al in his research is the properties of Light-Duty Vehicle Class 3 or vehicle type 3 and some

ISBN 978-602-73461-8-5

parameters that commonly used. This study used a homogeneous type of vehicle with variation of speed between 55 to 90 km/h.

Table 2 Parameters used to solve PRP

Notation	Description	Value
w	Curb-weight (kg)	6350
ξ	Fuel-to-air-mass ratio	1
k	Engine friction factor (kJ/rev/L)	0.2
N	Engine speed (rev/s)	33
V	Engine displacement (L)	5
g	Gravitational constant (m/s^2)	9.81
C_d	Coefficient of aerodynamic drag	0.7
ρ	Air density (kg/m^3)	1.2041
A	Frontal surface area (m^2)	3.912
C_r	Coefficient of rolling resistance	0.01
η_{tf}	Vehicle drive train efficiency	0.4
η	Efficiency parameter for diesel engines	0.9
f_c	Fuel and CO2 emissions cost (£/L)	1.4
f_d	Driver wage (£/s)	8/3600
κ	Heating value of a typical diesel fuel (kJ/g)	44
ψ	Conversion factor (g/s to L/s)	737
v_{MIN}	Lower speed limit (m/s) (55 km/h)	15.3
v_{MAX}	Upper speed limit (m/s) (90 km/h)	25
m	Amount of available vehicle	5

The instances used in this study are provided by PRPLIB based on real distances of cities in UK (http://www.apollo.management.soton.ac.uk/prplib.htm). The cities are chosen randomly to make a set of instance. The number 0 indicated that the city is the location of the depot. In this study, 10 instances from the PRPLIB with 10 nodes used for simulation in the program namely UK10_01, UK10_02, UK10_03, ..., until UK10_10. The simulation provided us with the data of which route the vehicles took and in which speed level they travelled in each arc.

3.2 Comparison between Solutions from this Study to Previous Research

After the simulation came into the optimum solution, the result then compared to the other research that has done the simulation using the same exact method with CPLEX.

Table 3 Comparison between simulation results from this study to solutions from Demir et al. (2012)

No.	Instance ID	Demir et al. (2012)		This study	
		Solution (£)	CPU Time (s)	Solution (£)	CPU Time (s)
1	UK10_01	170.66	163	169.82	77.36
2	UK10_02	204.87	114	203.97	73.25
3	UK10_03	200.33	926	199.37	160.44

ISBN 978-602-73461-8-5

No.	Instance ID	Demir et al. (2012)		This study	
		Solution (£)	CPU Time (s)	Solution (£)	CPU Time (s)
4	UK10_04	189.94	397	189.05	92.83
5	UK10_05	175.61	1,254	174.79	265.64
6	UK10_06	214.56	348	213.58	130.69
7	UK10_07	190.14	191	189.27	60.47
8	UK10_08	222.16	140	221.14	47.75
9	UK10_09	174.53	54	173.74	17.42
10	UK10_10	189.83	76.9	188.94	20.47

The simulation results from this study are slightly better than the result from Demir et al. (2012) and also the computation time is faster. That may happen because the programming software CPLEX used is the upgraded version, previous research by Demir et al (2012) used CPLEX 12.1 to solve the problem. The hardware used for this study also has a higher specification, where it has 8 times larger size of RAM than the previous research, which in turn made the computation better.

4. Conclusions

The Pollution routing problem (PRP) is the extension of the traditional VRP which concerned not only minimizing the distance but also the environmental effects represented with the cost of pollution. From the simulation, we can see that there are variations of vehicle speed to get the optimum solution.

The mathematical model shows that variation in speed, variation in load carried by the vehicle, and the vehicle variable cost caused by distance travelled are all affecting the optimization result in pollution routing problem.

References

Bektas, T. and Laporte, G., 2011, The Pollution-Routing Problem, *Transportation Research Part B*, vol. 45, pp. 1232-1250.

Cordeau, J.-F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J.-Y., and Semet, F., 2002, A Guide to Vehicle Routing Heuristics, *Journal of the Operational Research Society*, vol. 53, pp. 512-522.

Dantzig, G.B., Ramser, J.H., 1959. The truck dispatching problem. Management Science vol. 6, pp. 80-91.

De la Cruz, J.J., Paternina-Arboleda, C.D., Cantillo, V., and Montoya-Torres, J.R., 2013, A Two-Pheromone Trail Ant Colony System-Tabu Search Approach for the Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Time Windows and Multiple Products, *Journal of Heuristics*, vol. 19, pp. 233-252.

Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2018, 2016 UK Greenhouse Gas Emissions, Final Figures – Statistical Release, *Technical report, Department for Business, Energy & Industrial Strategy*, London.

Derigs, U., Gottlieb, J., Kalkoff, J., Piesche, M., Rothlauf, F., and Vogel, U., 2011, Vehicle Routing with Compartments: Applications, Modelling and Heuristics, *OR Spectrum*, vol. 33, pp. 885-914.

Franceschetti, A., Honhon, D.B.L.P., Van Woensel, T., Bektas, T., and Laporte, G., 2013, The Time-Dependent Pollution-Routing Problem, *Transportation Research Part B: Methodological,* vol. 56, pp. 265-293.

ISBN 978-602-73461-8-5

Knörr, W., 2008, EcoTransIT: Ecological Transport Information Tool – Environmental Methodology and Data, *Technical report*, *Institut für Energie (ifeu) und Umweltforschung Heidelberg GmbH*, Heidelberg.

Kramer, R., Subramanian, A., Vidal, T., and Cabral, L.A.F., 2014, A Matheuristic Approach for the Pollution-Routing Problem, *European Journal of Operational Research*, vol. 243, pp. 523-539.

Lathifah, A., 2015, Simulated Annealing Heuristic for the Heterogeneous Fleet Pollution Routing Problem, *Master thesis, Department of Mechanical and Industrial Engineering, Universitas Gadjah Mada*, Yogyakarta.

Lin, C., Choy, K.L., Ho, G.T.S., Chung, S.H., and Lam, H.Y., 2014, Survey of Green Vehicle Routing Problem: Past and Future Trends, *Expert Systems with Applications*, vol. 41, pp. 1118-1138.

Ohnishi, H., 2008, Greenhouse Gas Reduction Strategies in the Transport Sector: Preliminary Report, *Technical report, OECD/ITF Joint Transport Research Centre Working Group on GHG Reduction Strategies in the Transport Sector*, Paris.

Prive, J., Renaud, J., Boctor, F., and Laporte, G., 2006, Solving a Vehicle Routing Problem Arising in Soft Drink Distribution, *Journal of the Operational Research Society*, vol. 57, pp. 1045–1052.

Tseng, Y.-y., Yue, W.L., and Taylor, M.A.P., 2005, The Role of Transportation in Logistics Chain, *Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol. 5, pp. 1657-1672.

US EPA, 2018, Sources of Greenhouse Gas Emissions, *United States Environmental Protection Agency*, https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions, accessed on July 25th 2018.

Vitasek, K., 2013, *Supply Chain Management Terms and Glossary*, Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP).

ISBN 978-602-73461-8-5

Pengembangan Metode Pemilihan *Suppliers* Potensial

Titi Indarwati, Nur Aini Masruroh
Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika 2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281
Telp. +62-274-513665
E-mail: titi.indarwati@mail.ugm.ac.id

Intisari

Kehadiran internet dan teknologi digital menimbulkan globalisasi yang berdampak pada perubahan gaya hidup masyarakat menjadi cenderung untuk mengikuti tren. Pertukaran informasi yang semakin cepat mengakibatkan preferensi customer terhadap produk cepat berubah sehingga berdampak pada siklus hidup produk yang semakin singkat. Untuk menjawab tantangan pasar tersebut, pihak perusahaan perlu meningkatkan efisiensi kinerja rantai pasok. Permasalahan yang dihadapi ialah bagaimana menghasilkan konfigurasi optimal dari produk, proses manufaktur dan sumber supply agar terbentuk rantai pasok yang efektif dan efisien. Untuk mencapai solusi global optimum pada keseluruhan jaringan rantai pasok diperlukan adanya list of potential suppliers namun sebagai besar penelitian terkait pemilihan supplier berfokus pada penentuan supplier terbaik sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model pemilihan supplier potensial. Model yang dibangun terdiri dari dua tahap utama. Yang pertama ialah evaluasi kinerja supplier berdasarkan kriteria kualitatif menggunakan Best Worst Method (BWM) untuk menentukan bobot kriteria dan Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) untuk menentukan peringkat supplier, dalam tahap tersebut juga dilakukan transformasi variabel-variabel kualitatif menjadi variabel kuantitaif untuk digunakan sebagai salah satu variabel output pada tahap selanjutnya. Tahap kedua ialah penentuan threshold supplier potensial menggunakan Data Envelopment Analysis (DEA). Selanjutnya model diimplementasikan untuk kasus pemilihan supplier pewarna batik pada Batik Keraton. Dari 7 kandidat suppliers yang ada, A_1, A_3, dan A_4 terpilih sebagai suppliers potensial sedangkan dari owner Batik Keraton menyatakan bahwa A_1, A_3, A_2, dan A_4 merupakan supplier potensial yang selama ini dijadikan sebagai partner perusahaan.

Kata Kunci: BWM, DEA, suppliers potensial, TOPSIS.

1. Pendahuluan

Internet dan teknologi digital telah menciptakan interkoneksi antar manusia yang kehadirannya menjadi salah satu faktor utama munculnya globalisasi. Globalisasi mengubah karakter, gaya hidup dan perilaku masyarakat lebih kritis dan peka terhadap rasa atau selera sehingga menyebabkan preferensi mereka terhadap suatu produk cepat berubah. Hal tersebut berdampak pada siklus hidup produk yang semakin pendek. Siklus hidup produk yang singkat mengakibatkan perlu adanya desain kinerja rantai pasok yang fleksibel dan adaptif agar dapat merespon berbagai perubahan dengan cepat. Rantai pasok merupakan jaringan kompleks yang terdiri dari beberapa tahapan yaitu *supplier*, manufaktur, distributor, *retailer* dan konsumen. Setiap *node* dalam jaringan rantai pasok sering dihadapkan pada beberapa pilihan alternatif, tantangan yang dihadapi ialah bagaimana menghasilkan konfigurasi optimal dari produk, proses manufaktur dan sumber

ISBN 978-602-73461-8-5

supply untuk membentuk rantai pasok yang efektif dan efisien secara simultan dan terintegrasi.

Siklus hidup produk yang singkat menjadikan ketepatan pemilihan *supplier* sebagai prioritas untuk meningkatkan keragaman produk perusahaan. Pemilihan *supplier* merupakan aktivitas yang sangat penting dalam proses pembelian, sekitar 50 - 70% dari biaya produksi dihabiskan untuk pembelian bahan dan komponen (Prajogo *et al*, 2012). Pengurangan biaya operasional dan peningkatan kualitas produk akhir dapat dicapai dengan memilih *supplier* dengan tepat (Zeydan *et al*, 2011). Perlu adanya tahap pra-kualifikasi *suppliers* potensial untuk mengurangi jumlah *supplier* karena lingkungan logistik mengalami kesulitan dalam menangani jumlah yang banyak (Aissaoui *et al*, 2007). Tahap pra-kualifikasi bukan hanya proses perankingan, namun merupakan proses penyortiran (De Boer *et al*, 2001). Rezaei *et al* (2016) menyebutkan beberapa manfaat pemilihan *suppliers* potensial, yaitu: mengurangi risiko memilih *supplier* yang tidak memenuhi syarat dalam daftar akhir *suppliers* terpilih, mengurangi tenaga dan waktu yang digunakan pembuat keputusan untuk mengumpulkan informasi terkait *supplier*, dan mengurangi risiko melewatkan *supplier* yang memenuhi kualifikasi dalam tahap seleksi.

Permasalahan tentang pemilihan *suppliers* telah dipelajari secara ekstensif. Berbagai pendekatan metode pengambilan keputusan telah diusulkan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, namun sebagian besar penelitian berfokus pada pemilihan *supplier* terbaik (Kumar *et al*, 2014; Dweiri *et al*, 2016; Awasthi *et al*, 2017; Sarkar *et al*, 2018) sedangkan untuk mendapatkan solusi global optimum pada keseluruhan jaringan rantai pasok diperlukan *adanya list of potential suppliers*. Studi ini membantu pengambil keputusan untuk mengurangi jumlah pemasok dengan menentukan *threshold supplier* potensial. Zeydan *et al* (2011) memperkenalkan model pemilihan *suppliers* potensial berbasis efisiensi dan efektifitas dengan mempertimbangkan variabel kualitatif dan kuantitatif menggunakan *fuzzy Analytical Hierarchical Process* (*fuzzy* AHP), *fuzzy* TOPSIS dan DEA yang diujikan pada industri otomotif. Model tersebut terdiri dari dua tahap, yang pertama ialah mengevaluasi *supplier* menggunakan variabel kualititatif menggunakan *fuzzy* AHP untuk menentukan bobot kriteria kemudian *fuzzy* TOPSIS untuk menentukan peringkat *suppliers*. Tahap tersebut mengubah variabel kualitatif menjadi variabel kuantitatif. Selanjutnya, tahap kedua ialah mengevaluasi efisiensi setiap *suppliers* menggunakan DEA. Analisis *fuzzy* digunakan karena ketidakpastian dan ambiguitas dalam proses pengambilan keputusan menyebabkan kesulitan dalam analisis. Namun beberapa penelitian menunjukkan bahwa keputusan akhir dari metode FAHP tidak berbeda dengan hasil AHP reguler sehingga penambahan kerumitan bilangan *fuzzy* mungkin tidak diperlukan (Govindan et al, 2015). Zhang (2010) mengungkapkan bahwa bobot yang dihasilkan dari FAHP cenderung sama dengan hasil AHP reguler, hal tersebut disebabkan oleh ketidakpastian dalam rentang angka perbandingan berpasangan *fuzzy* yang menyeimbangkan bobot setiap kriteria. Hal yang sama diungkapkan oleh Kabir & Hasin (2012) bahwa TOPSIS reguler dengan *Fuzzy* TOPSIS (F-TOPSIS) menghasilkan keputusan yang sama meski ada sedikit perbedaan urutan peringkat alternatif.

Model dalam penelitian ini merujuk pada model yang dibangun oleh Zeydan *et al* (2011) dengan menggunakan 3 metode *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) yaitu BWM, TOPSIS, dan DEA. Tahap pertama yaitu BWM digunakan untuk menentukan bobot kriteria dan TOPSIS untuk menentukan peringkat *supplier*. BWM digunakan dalam penelitian ini karena Rezaei (2015) menunjukkan BWM memiliki performansi yang secara signifikan lebih baik dibandingkan AHP berdasarkan *consistency ratio, minimum violation,*

ISBN 978-602-73461-8-5

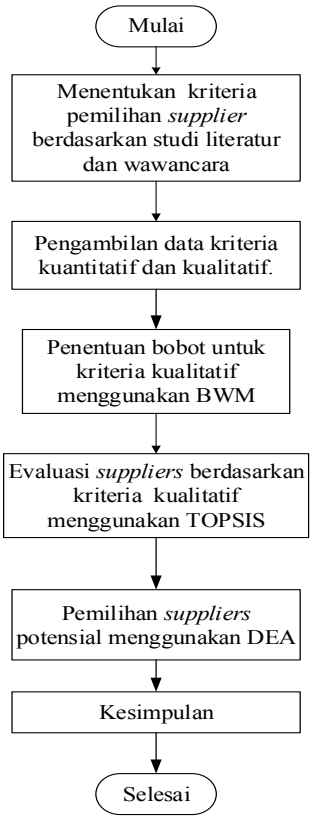
total deviasi, dan *conformity*. Jika pada model Zeydan *et al* (2011) digunakan *fuzzy* TOPSIS untuk menentukan peringkat *supplier*, model pada penelitian ini hanya menggunakan TOPSIS karena Rathod dan Kanzaria (2011) menunjukkan TOPSIS reguler dengan *fuzzy* TOPSIS menghasilkan keputusan dan urutan peringkat alternatif yang sama sehingga dilakukan penyederhanaan model dengan tidak digunakannya analisis *fuzzy*. Pada tahap akhir, digunakan model DEA Banker Charnes Cooper (BCC) *output oriented* mengikuti model pada penelitian Zeydan *et al* (2011). Model yang dibangun dalam penelitian ini diuji coba dalam kasus nyata pemilihan *supplier* pewarna batik pada Batik Keraton.

2. Metode

Pengembangan model pemilihan *supplier* potensial ini dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu:

1. Penentuan kriteria
   Identifikasi kriteria dilakukan melalu studi literatur dan *interview* dengan pihak yang berperan penting dalam pemilihan *supplier.* Kriteria yang digunakan terdiri dari kriteria kualitatif dan kuantitatif, dimana kriteria kualitatif akan digunakan untuk menyusun kuesioner penilaian bobot kriteria dan evaluasi *supplier* sedangkan kriteria kuantitatif digunakan sebagai variabel *output* pada penentuan *suppliers* potensial menggunakan DEA.
2. Penentukan bobot kriteria menggunakan BWM
   Penilaian bobot kriteria dimaksudkan agar pengambil keputusan dapat memprioritaskan kriteria yang memiliki bobot kepentingan lebih besar. Kuesioner penilaian kriteria berisi perbandingan berpasangan antar kriteria dengan skala 1-9.
3. Evaluasi *supplier* menggunakan TOPSIS
   Pada tahap ini, *suppliers* dievaluasi berdasarkan kriteria kualitatif, hasil dari TOPSIS akan digunakan sebagai data *output* untuk DEA. Penilaian terhadap *supplier* menggunakan nilai 1-9.
4. Penentuan *suppliers* potensial menggunakan DEA
   Tahap ini dilakukan untuk mengkategorikan *supplier* ke dalam kategori *efficient* dan *inefficient*. *Suppliers* yang termasuk kategori *efficient* akan terpilih menjadi *supplier* potensial. Semua tahapan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 1.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 1. Tahapan Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Identifikasi Kriteria

Model pada penelitian ini diuji coba atau diimplementasikan pada studi kasus pemilihan *supplier* pemilihan pewarna batik pada Batik Keraton. Penentuan kriteria pemilihan *supplier* berdasarkan studi literatur dan *interview* dengan *owner* Batik Keraton. Terdapat beberapa studi yang bertujuan mengidentifikasi kriteria untuk pemilihan *supplier* (Katsikeas et al, 2004; Chang et al, 2011; Junior & Carpinetti, 2016; Mirmousa & Dehnavi, 2016). Berikut ini daftar kriteria yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Pengiriman
   Kriteria pengiriman merupakan kemampuan *supplier* dalam memenuhi permintaan pengiriman sesuai dengan jadwal yang disepakati dengan pembeli. Chan & Chan (2010) menyatakan bahwa pengiriman merupakan kriteria yang paling penting dalam keputusan pemilihan *supplier* industri *textile*. Pemilihan *supplier* tidak hanya berfokus untuk mendapatkan harga yang lebih rendah tapi juga pengiriman yang cepat dan handal.
2. Harga
   Harga merupakan kriteria prioritas dalam pendekatan tradisional, harga yang lebih rendah menjadi penentu penting dalam proses pembelian (Katsikeas et al, 2004). Meskipun harga merupakan kriteria yang selalu dilibatkan dalam pemilihan *supplier* namun hal ini bukan berarti bahwa harga menjadi kriteria yang paling penting.

ISBN 978-602-73461-8-5

3. Kualitas produk
   Kualitas produk adalah kesesuaian spesifikasi barang dari *supplier* dengan permintaan perusahaan. Meskipun kualitas, pelayanan, harga dan pengiriman merupakan kriteria yang paling sering digunakan namun kriteria yang paling penting ialah kualitas (Asadabadi, 2017).
4. *Reliability* (Keandalan)
   Reliablity merupakan kemampuan *supplier* dalam menyediakan barang sesuai dengan permintaan pembeli. Dalam kasus *single sourcing*, *reliability* (keandalan) menjadi faktor yang sangat mempengaruhi proses pembelian (Katsikeas *et al*, 2004).
5. Kebijakan pembayaran tempo
   Sistem pembayaran yang memperbolehkan pembeli melakukan pembayaran dalam jangka waktu tertentu akan sangat diperlukan pihak perusahaan (pembeli) jika kondisi keuangan kurang stabil. Adanya sistem pembayaran tempo dari *supplier* akan memberikan beberapa keuntungan, yaitu: dana pengadaan barang dapat digunakan untuk pengeluaran hal lain, menjadikan stok barang selalu ada, dan mempercepat perputaran barang. Hal tersebut menjadikan kriteria ini perlu dipertimbangkan dalam pemilihan *supplier* (Gorener *et al*, 2017).
6. *Service* (Pelayanan)
   Pelayanan adalah respon *supplier* dalam melayani pemesanan pembeli. Meskipun dalam beberapa literatur harga dan keandalan merupakan kriteria utama dalam pendekatan tradisional, namun studi terbaru menunjukkan kecenderungan *service* (pelayanan) menjadi kriteria utama dalam proses pembelian (Katsikeas *et al*, 2004).

3.2. Pembobotan Kriteria menggunakan BWM

Pembobot kriteria bertujuan untuk menghasilkan keputusan global optimum karena setiap kriteria dapat mengarahkan pada urutan preferensi alternatif yang berbeda (Junior & Carpinetti, 2016). Tahap awal untuk menentukan bobot kriteria dengan BWM ialah menentukan *best criteria* dan *worst criteria*. *Best criteria* merupakan kriteria terpenting dalam pemilihan *supplier* sedangkan *worst criteria* merupakan kriteria paling tidak penting berdasarkan pendapat *expert*. Pada studi kasus penelitian ini, kualitas merupakan *best criteria* sedangkan *worst criteria* ialah kebijakan pembayaran tempo. Selanjutnya ialah penilaian preferensi pengambilan keputusan terhadap setiap kriteria menggunakan *pairwise comparison*. Perbandingan dilakukan antara *best criteria* terhadap semua kriteria dan perbandingan antara setiap kriteria terhadap *worst criteria* menggunakan nilai antara 1 sampai 9. Nilai 1 menunjukkan tingkat kepentingan yang sama antar kriteria, sedangkan 9 menunjukkan kriteria tersebut mutlak sangat penting dibandingkan kriteria lain. Nilai perbandingan antara *best criteria* terhadap semua kriteria ditunjukkan oleh Tabel 1 sedangkan perbandingan antara setiap kriteria terhadap *worst criteria* ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 1. Perbandingan Antara *Best Criteria* Terhadap Setiap Kriteria

***Best criteria*: Kualitas**	**Pengiriman**	**Kualitas**	***Reliability***	**Pembayaran tempo**	***Service***
	5	1	4	7	5

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 2. Perbandingan antara setiap kriteria terhadap *Worst Criteria*

	***Worst criteria*: Pembayaran tempo**
Pengiriman	5
Kualitas	7
Reliability	6
Pembayaran tempo	1
Service	4

Berdasarkan data pada Tabel 1 dan Tabel 2 maka diperoleh model BWM sebagai berikut:

$\min \xi$

subject to:

$$\left|\frac{w_{kualitas}}{w_{pengiriman}} - 5\right| \leq \xi \quad \text{..... (1)}$$

$$\left|\frac{w_{kualitas}}{w_{reliability}} - 4\right| \leq \xi \quad \text{..... (2)}$$

$$\left|\frac{w_{kualitas}}{w_{pembayaran\ tempo}} - 7\right| \leq \xi \quad \text{..... (3)}$$

$$\left|\frac{w_{kualitas}}{w_{service}} - 5\right| \leq \xi \quad \text{..... (4)}$$

$$\left|\frac{w_{pengiriman}}{w_{pembayaran\ tempo}} - 5\right| \leq \xi \quad \text{.....(5)}$$

$$\left|\frac{w_{reliability}}{w_{pembayaran\ tempo}} - 6\right| \leq \xi \quad \text{.....(6)}$$

$$\left|\frac{w_{service}}{w_{pembayaran\ tempo}} - 4\right| \leq \xi \quad \text{.....(7)}$$

$$w_{pengiriman} + w_{kualitas} + w_{reliability} + w_{pembayaran\ tempo} + w_{service} = 1 \quad \text{...(8)}$$

$$w_{pengiriman}, w_{kualitas}, w_{reliability}, w_{pembayaran\ tempo}, w_{service} \geq 0 \quad \text{.....(9)}$$

dimana :

ξ = perbedaan *maximum absolute* $\left|\frac{w_B}{w_i} - \mathrm{a_{Bi}}\right|$ dan $\left|\frac{w_i}{w_w} - a_{iW}\right|$

w_i = bobot kriteria *i*

w_B = bobot *best criteria*

w_w = bobot *worst criteria*

$\mathrm{a_{Bi}}$ = preferensi *best criteria* terhadap kriteria *i*

a_{iW} = preferensi kriteria *i* terhadap *worst criteria*

Model tersebut diselesaikan menggunakan *solver microsoft excel* 2016, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3. Penyelesaian model menghasilkan bobot pengiriman = 0,1486; kualitas = 0,4459; *reliability* = 0,2072; pembayaran tempo = 0,0495; *service* = 0,1486; dan ξ = 2. Untuk rasio konsistensi $\mathrm{a_{BW}}$ (preferensi *best criteria* terhadap *worst criteria*) = 7

ISBN 978-602-73461-8-5

maka indeks konsistensi untuk permasalahan ini adalah 3,73 sehingga rasio konsistensi adalah $\frac{2}{3,73} = 0,5316$ yang berarti penilaian perbandingan oleh *expert* konsisten karena nilainya kurang dari 1. Kualitas merupakan kriteria terpenting karena memiliki bobot tertinggi yaitu 0,4459 kemudian diikuti oleh *reliability* (keandalan), pengiriman, pelayanan dan sistem pembayaran tempo. Hal tersebut sesuai dengan hasil studi Junior & Carpinetti (2016) yang menyatakan bahwa kualitas merupakan salah satu kriteria yang masuk kategori kriteria prioritas dalam pemilihan *supplier*.

Tabel 3. Bobot Akhir Setiap Kriteria

	Pengiriman	**Kualitas**	***Reliability***	**Pembayaran tempo**	***Service***	ξ
Bobot	0,1486	0,4459	0,2072	0,0495	0,1486	2

3.3. Evaluasi *Supplier* dengan TOPSIS

Pada tahap ini, TOPSIS digunakan untuk mengevaluasi *suppliers* berdasarkan kriteria kualitatif, dimana *output* TOPSIS akan digunakan sebagai variabel *output* pada penentuan *suppliers* potensial menggunakan DEA. Penilaian terhadap semua kandidat *supplier* berdasarkan kriteria kualitatif menggunakan rentan angka 1-9 (semakin tinggi nilainya maka semakin bagus). Tabel 4 menunjukkan penilaian *expert* terhadap setiap kandidat *supplier*. Bobot kriteria yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya digunakan sebagai *input* dalam tahap ini. Hasil perhitungan menggunakan TOPSIS ditunjukkan oleh Tabel 5. Pada Tabel 5 terlihat bahwa nilai S_i terbesar ialah A_1 sehingga nilai *output* evaluasi TOPSIS untuk A_1 ialah 100, untuk memperoleh nilai *output* TOPSIS lainnya nilai *Si* setiap *supplier* dibandingkan dengan nilai S_i dari A_1. Hasil yang diperoleh pada tahap ini akan dijadikan sebagai *output* pada evaluasi tahap akhir menggunakan DEA. Pada Tabel 5 dapat dilihat urutan peringkat *supplier* berdasarkan evaluasi kriteria kualitatif, yaitu A_1, A_3, A_4, A_2, A_5, A_7, dan A_6. *Expert* dari pihak Batik Keraton menyatakan bahwa *supplier* yang selalu digunakan atau yang berperan sebagai *supplier* utama ialah A_1, karena *supplier* tersebut memiliki keunggulan pada beberapa kriteria prioritas yaitu kualitas, pengiriman dan sistem pembayaran tempo dibandingkan *supplier* lain. Pada faktanya, meskipun Batik Keraton memiliki *supplier* utama, namun juga tetap menggunakan *supplier* lain sebagai rekan bisnis mereka yaitu *supplier* A_2, A_3, dan A_4 sedangkan *supplier* yang hanya sebagai kompetitor.

Tabel 4. Penilaian Setiap *Supplier* Berdasarkan Setiap Kriteria

Suppliers	**Pengiriman**	**Kualitas**	***Reliability***	**Pembayaran tempo**	***Service***
A1	8	6	7	8	7
A2	6	6	7	7	6
A3	8	6	7	6	7
A4	7	6	6	5	7
A5	5	5	6	4	7
A6	5	4	6	5	7
A7	8	4	6	5	7

Tabel 5. Hasil Peringkat *Supplier* Menggunakan TOPSIS

ISBN 978-602-73461-8-5

Supplier	**Si**	***Output* TOPSIS**	**Urutan**
A1	1	100	1
A2	0,777	77,794	4
A3	0,915	91,564	2
A4	0,789	78,917	3
A5	0,426	42,657	5
A6	0,112	11,248	7
A7	0,287	28,779	6

3.4. Penentuan *Suppliers* Potensial dengan DEA

Hasil evaluasi *supplier* menggunakan metode TOPSIS digunakan sebagai variabel *output* dalam tahap penentuan *supplier* potensial. Kriteria lain yang digunakan sebagai *output* ialah harga karena merupakan kriteria kuantitatif. Perusahan berfokus pada produk akhir maka model yang digunakan ialah DEA *output oriented* (Zeydan *et al*, 2011). Nilai *input* diabaikan sehingga semua nilai input DMU dibuat sama dengan diasumsikan bernilai 1. DMU dalam kasus ini ialah *suppliers*. Tabel 6 menunjukkan data *input* dan *output* yang digunakan untuk model DEA.

Tabel 6 Data *Input* dan *Output* Model DEA

Suppliers **(DMU)**	***Input***	***Outputs***		***Slack***		
		Output **TOPSIS**	**Harga Pewarna Batik (dikalikan 1000) per kg**	***Input***	***Output*** **TOPSIS**	**Harga**
A1	1	100	2000	0	0	0
A2	1	77,7943	2700	0	0	0
A3	1	91,5644	2500	0	0	0
A4	1	78,9176	2600	0	0	0
A5	1	42,6576	2900	0	34,789	0
A6	1	11,2484	2600	0	65,939	0
A7	1	28,7793	2900	0	49,146	0

Model DEA yang digunakan ialah BCC output *oriented*, berdasarkan data *input* dan *output* pada Tabel 6 maka persamaan matematika untuk menghitung nilai efisiensi *supplier* A_1 adalah sebagai beriku:

$max\beta$

subject to :

$$(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6 + \lambda_7) - 1 = 0 \quad \text{..... (10)}$$

$$(100\lambda_1 + 77{,}794\lambda_2 + 91{,}564\lambda_3 + 78{,}917\lambda_4 + 42{,}657\lambda_5 + 11{,}248\lambda_6 + 22{,}779\lambda_7) - 100\beta = 0 \quad \text{..... (11)}$$

ISBN 978-602-73461-8-5

$(2000\lambda_1 + 2700\lambda_2 + 2500\lambda_3 + 3000\lambda_4 + 2900\lambda_5 + 2600\lambda_6 + 2900\lambda_7) - 2000\beta = 0$ ..... (12)

$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6 + \lambda_7 = 1$ ..... (13)

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7 \geq 0$..... (14)

dimana:

β = skor efisiensi
λ_j = bobot untuk *inputs* dan *outputs supplier j*

Penyelesaian model DEA menggunakan *DEA-Solver-LV*(V8), hasilnya dapat dilihat pada Tabel 7. *Supplier* potensial merupakan *supplier* yang tergolong dalam kategori *efficient* yaitu memiliki nilai *score* 1. Berdasarkan hasil pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa *supplier* yang lolos sebagai *suppliers* potensial ialah A_1, A_3, dan A_4 karena memiliki *score* 1. Hasil dari pihak Batik Keraton menyatakan terdapat 4 *suppliers* potensial yaitu A_1, A_3, A_2, dan A_4, sedangkan hasil dari model ini yang tergolong sebagai *supplier* potensial hanya A_1, A_3, dan A_4.

Tabel 7 Hasil Model DEA

***Supplier* (DMU)**	***Score***	**Keterangan**
A1	1	*Efficient*
A2	0,943	*Inefficient*
A3	1	*Efficient*
A4	1	*Efficient*
A5	0,966	*Inefficient*
A6	0,866	*Inefficient*
A7	0,966	*Inefficient*

4. Kesimpulan dan Saran

Hasil dari model yang dibangun menunjukkan A_1, A_3, dan A_4 terpilih sebagai *suppliers* potensial sedangkan dari *owner* Batik Keraton menyatakan bahwa A_1, A_3, A_2, dan A_4 merupakan *supplier* potensial yang selama ini dijadikan sebagai *partner* perusahaan. Hal tersebut menandakan bahwa model pemilihan *supplier* potensial menggunakan BWM, TOPSIS dan DEA dimana BWM digunakan untuk menentukan bobot kriteria, TOPSIS untuk mengevaluasi *supplier* dan selanjutnya DEA untuk menentukan *threshold suppliers* potensial memberikan hasil yang relevan dengan keputusan perusahaan pada studi kasus yang digunakan. Saran untuk penelitian selanjutnya ialah pengaplikasian model pada perusahaan lain dengan skala yang lebih besar serta pengembangan model untuk kasus pengambilan keputusan grup atau kelompok.

ISBN 978-602-73461-8-5

Daftar Pustaka

Aissaoui, N., Haouari, M. & Hassini, E., 2007, *Supplier* selection and order lot sizing modeling: A review, *Computers & Operations Research ,* Volume 34, p. 3516–3540.

Asadabadi, M. R., 2017, A customer based *supplier* selection process that combines quality function deployment, the analytic network process and a Markov chain, *European Journal of Operational Research,* Volume 263, p. 1049–1062.

Awasthi, A., Govindan, K. & Gold, S., 2017, Multi-tier sustainable global *supplier* selection using a fuzzy AHP-VIKOR based approach, *International Journal of Production Economics.*

Chan, F. T. S. & Chan, H. K., 2010, An AHP model for selection of *supplier*s in the fast changing fashion market, *Int J Adv Manuf Technol,* Volume 51, pp. 1195-1207.

Chang, B., Chang, C.-W. & Wu, C.-H., 2011, Fuzzy DEMATEL method for developing *supplier* selection criteria, *Expert Systems with Applications,* Volume 38, p. 1850–1858.

De Boer, L., Labro, E. & Morlacchi, P., 2001, A review of methods supporting *supplier* selection, *European Journal of Purchasing & Supply Management,* Volume 7, pp. 75-89.

Dweiri, F., Kumar, S., Khan, S. A. & Jain, V., 2016, Designing an integrated AHP based decision support system for *supplier* selection in automotive industry, *Expert Systems With Applications,* Volume 62, p. 273–283.

Goren, H. G., 2018, A Decision Framework for Sustainable *Supplier* Selection and Order Allocation with Lost Sales, *Journal of Cleaner Production*.

Gorener, A., Ayvaz, B., Kusakcı, A. O. & Altınok, E., 2017. A Hybrid Type-2 Fuzzy Based *Supplier* Performance Evaluation Methodology: The Turkish Airlines Technic Case. *Applied Soft Computing.*

Govindan, K., Kadziński, M. & Sivakumar, R., 2016, Application of a novel PROMETHEE-based method for construction of a group compromise ranking to prioritization of green *supplier*s in food supply chain, *Omega.*

Junior, F. R. L. & Carpinetti, L. C. R., 2016, A multicriteria approach based on Fuzzy QFD for choosing criteria for *supplier* selection, *Computers & Industrial Engineering.*

Kabir, G. & Hasin, M. A. A., 2012, Comparative Analysis of TOPSIS and Fuzzy TOPSIS for the Evaluation of Travel Website Service Quality, *International Journal for Quality research*, Volume 3, pp. 169-185.

Katsikeas, C. S., Paparoidamis, N. G. & Katsikea, E., 2004, Supply source selection criteria: The impact of *supplier* performance on distributor performance, *Industrial Marketing Management*, Volume 33, pp. 755-764.

Kumar, A., Jain, V. & Kumar, S., 2014, A comprehensive environment friendly approach for *supplier* selection, *Omega*, Volume 42, pp. 109-123.

Mirmousa, S. & Dehnavi, H. D., 2016, *Development of Criteria of Selecting the Supplier by Using the Fuzzy DEMATEL Method,* Dubai, Elsevier.

Prajogo, D., Chowdhury, M., Yeung, A. C. & Cheng, T., 2012, The relationship between *supplier* management and firm's operational performance: A multi-

ISBN 978-602-73461-8-5

dimensional perspective, *International Journal Production Economics,* Volume 136, p. 123–130.

Rathod, M. K. & Kanzaria, H. V., 2011, A methodological concept for phase change material selection based on multiple criteria decision analysis with and without fuzzy environment. *Materials and Design,* Volume 32, pp. 3578–3585.

Rezaei, J., 2015, Best-worst multi-criteria decision-making method, *Omega,* Volume 53, pp. 49-57.

Sarkar , S., Pratihar , D. K. & Sarkar, B., 2018, An integrated fuzzy multiple criteria *supplier* selection approach and its application in a welding company, *Journal of Manufacturing Systems,* Volume 46, pp. 163–178.

Zeydan, M., Çolpan, C. & Çobanog˘lu, C., 2011, A combined methodology for *supplier* selection and performance evaluation, *Expert Systems with Applications,* Volume 38, pp. 2741-2751.

Zhang, L., 2010, *Comparison of Classical Analytic Hierarchy Process (Ahp) Approach and Fuzzy Ahp Approach in Multiple-Criteria Decision Making for Commercial Vehicle Information Systems And Networks (CVISN) Project,* Nebraska: University of Nebraska.

ISBN 978-602-73461-8-5

Optimasi Interval Perawatan Jalan Rel Kereta Api Berdasarkan Minimasi Biaya

Wini Wiliyanti, Andi Rahadiyan Wijaya
Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika 2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281
Telp. 0274 513665
E-mail: winiwiliyanti.ww@gmail.com

Intisari

Kereta api telah menjadi salah satu moda transportasi yang semakin diminati oleh masyarakat. Tercatat jumlah penumpang kereta api mengalami peningkatan sebesar rata-rata 12% sejak tahun 2011. Namun dalam proses operasinya, kereta api tidak terlepas dari terjadinya kecelakaan yang mengakibatkan kerugian baik bagi penyedia layanan maupun bagi penumpang kereta. Masalah yang paling sering terjadi adalah anjlokan kereta, tidak hanya di Indonesia tetapi juga di beberapa negara Eropa dan Amerika.. Di Indonesia, sejak tahun 2009 hingga 2017 telah terjadi setidaknya 26 kecelakaan yang terdiri dari 62% anjlokan, 31% tabrakan, dan 7% lain-lain. Sebesar 65% anjlokan disebabkan oleh kerusakan pada jalan rel. Kerusakan pada jalan rel dapat dikurangi dengan menerapkan sistem perawatan yang tepat. Di PT. Kereta Api Indonesia (Persero) saat ini terdapat masalah yaitu dengan interval perawatan yang telah ditetapkan, volume pekerjaan perbaikan jalan rel meningkat seiring meningkatnya lalu lintas kereta. Oleh karena itu, disusun rancangan framework untuk mengevaluasi interval perawatan yang optimal sehingga diperoleh komponen jalan rel yang handal dengan biaya perawatan minimum menggunakan kombinasi beberapa metode yaitu failure mode and effect analysis (FMEA), proportional hazard model (PHM), age replacement, dan block replacement.

Kata Kunci: interval perawatan, anjlokan, jalan rel, preventive replacement, FMEA, PHM

1. Pendahuluan

Jumlah penumpang kereta api di Indonesia meningkat setiap tahun. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), sejak tahun 2011 hingga 2017 tercatat jumlah penumpang kereta api mengalami peningkatan sebesar rata-rata 12% setiap tahunnya. Hal ini membuktikan bahwa kereta api telah menjadi salah satu moda transportasi yang semakin diminati oleh masyarakat.

Seiring meningkatnya pengguna, kebutuhan akan pelayanan kereta api yang baik juga meningkat. Namun dalam proses operasinya, kereta api tidak terlepas dari terjadinya kecelakaan yang mengakibatkan kerugian baik bagi penyedia layanan kereta api maupun bagi penumpang. Berdasarkan data invastigasi kecelakaan kereta oleh Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT), sejak tahun 2009 hingga 2017 telah terjadi setidaknya 26 kecelakaan yang terdiri dari 62% anjlokan, 31% tabrakan, dan 7% lain-lain. Angka tersebut membuktikan bahwa anjlokan merupakan masalah yang paling sering terjadi di Indonesia.

Selain Indonesia, anjlokan juga merupakan masalah yang paling sering terjadi di Eropa dan Amerika (Holmgren, 2005; Liu dkk, 2012; Famurewa dkk, 2017). Holmgren (2005) mengklasifikasikan penyebab anjlokan yaitu penyebab yang berkaitan dengan jalan

ISBN 978-602-73461-8-5

rel, penyebab yang berkaitan dengan sarana kereta api termasuk aspek kesalahan manusia pada saat mengoperasikan kereta api, dan penyebab yang berkaitan dengan kurangnya informasi. Di Indonesia, kerusakan pada jalan rel merupakan penyebab utama terjadinya anjlokan. Sejak tahun 2009 hingga 2017 sebanyak 65% anjlokan disebabkan oleh kerusakan pada jalan rel, 20% kerusakan pada sarana, dan 15% akibat masalah lingkungan dan kurangnya informasi (KNKT, 2017). Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada kerusakan jalan rel di Indonesia.

Kerusakan pada jalan rel tidak dapat dihindari tetapi dapat dikurangi dengan menerapkan sistem perawatan yang tepat (Ahmad dkk, 2011). Oleh karena itu PT. Kereta Api Indonesia (Persero) membangun beberapa Unit Pelaksana Teknis (UPT) yang tersebar di pulau Jawa dan Sumatera yang bertugas untuk melaksanakan perawatan jalan rel, salah satunya adalah UPT Resor 6.5 Yogyakarta dimana terdapat setidaknya 88 unit sambungan, 115 unit wesel, 15 unit lengkung, serta bantalan berjumlah ribuan unit.

Berdasarkan analisis potensi kegagalan untuk masing-masing komponen jalan rel menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*, diketahui bahwa sambungan jalan rel memperoleh nilai *Risk Priority Number (RPN)* tertinggi sehingga merupakan komponen kritis. Selain itu, pada buku standar perawatan prasarana PT. Kereta Api Indonesia (Persero) dikatakan bahwa komponen sambungan merupakan prioritas pertama dalam hal perawatan.

UPT. Resor 6.5 Yogyakarta melaksanakan siklus perawatan sambungan jalan rel setiap 45 hari berdasarkan pada pedoman perusahaan. Akan tetapi, saat ini terdapat masalah di lapangan yaitu sejak tahun 2016, volume pekerjaan perbaikan sambungan meningkat sehingga berdampak pada meningkatnya biaya perawatan. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi mengenai siklus perawatan sambungan jalan rel sehingga diperoleh komponen yang handal dengan biaya perawatan minimum.

Perawatan didefinisikan sebagai kombinasi dari seluruh aktivitas teknis dan administratif untuk mencegah/memperbaiki komponen atau mesin agar dapat melaksanakan fungsinya (European Standard, 2010). Secara umum, sistem perawatan terbagi dua yaitu perawatan preventif dan perawatan korektif. Tujuan dilakukannya perawatan preventif adalah untuk mencegah terjadinya kerusakan sebelum benar-benar terjadi, menurunkan biaya, dan meningkatkan kehandalan komponen. Meskipun perawatan preventif menghasilkan biaya tambahan, biaya ini lebih sedikit dibandingkan dengan biaya yang akan muncul pada perawatan korektif (Macedo dkk, 2017).

Tujuan utama dari perawatan preventif adalah menentukan waktu atau interval yang optimal untuk melaksanakan perbaikan atau penggantian komponen (Jardine dan Tsang, 2013). Interval perawatan harus tepat karena kehandalan suatu mesin dapat berkurang akibat interval perawatan yang terlalu panjang, sedangkan interval yang terlalu pendek dapat menimbulkan aktifitas perawatan yang terlalu banyak sehingga berdampak pada meningkatnya biaya perawatan (Bahrami-G dkk, 2000).

PT. Kereta Api Indonesia (Persero) menerapkan sistem pemeliharaan preventif yaitu aktifitas pemeliharaan bulanan terhadap beberapa komponen, dan sistem pemeliharaan korektif dimana suatu komponen diganti ketika telah mengalami kerusakan. Secara umum, terdapat dua model penggantian yaitu *age replacement* dan *block replacement* (Jardine dan Tsang, 2013). Metode *age replacement* telah banyak digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah terkait penggantian komponen atau mesin produksi (Ahmad dkk, 2011; Tabriz dkk, 2016; Lim dkk, 2016). Metode *age replacement* bergantung pada usia dari komponen tersebut. Metode ini dapat menentukan interval waktu penggantian yang optimum dengan biaya minimum serta memaksimumkan *lifetime* komponen (Jardine dan Tsang, 2013).

ISBN 978-602-73461-8-5

Pada *block replacement,* penggantian komponen dilakukan dengan interval waktu yang tetap tanpa mempertimbangkan usia pakai. Komponen tetap diganti pada waktu tertentu meskipun usia pakainya masih panjang, hal ini merupakan salah satu kekurangan dari metode *block replacement* (Sheu dan Griffith, 2012). Bahrami-G dkk (2000) menunjukkan bahwa masalah utama dalam penyelesaian metode *block replacement* adalah pada saat menentukan laju kerusakan selama interval perawatan.

Dalam menentukan laju kerusakan komponen, penting untuk mengetahui *actual lifetime* berdasarkan kondisi terkini dari suatu komponen yaitu dengan mempertimbangkan faktor-faktor (kovariat) yang berpengaruh terhadap kerusakan komponen (Ahmad dkk, 2011). Selain itu, berdasarkan Labib (2004) dan Tam dkk (2006), penentuan interval penggantian komponen akan lebih optimal jika didasarkan pada kondisi terkini dari komponen tersebut. Salah satu metode untuk menentukan *actual lifetime* berdasarkan kondisi terkini dari suatu komponen adalah *proportional hazard model* (PHM) (Ahmad dkk, 2011; Pusponegoro, 2014; Albert, 2015).

Jalan rel kereta api merupakan sistem yang memiliki komponen sama dalam jumlah besar. Dengan demikian, metode *block replacement* dan *age replacement* dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah penentuan interval perawatan komponen jalan rel. Kemudian metode p*roportional hazard model* (PHM) digunakan untuk menentukan laju kerusakan selama interval perawatan dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhinya.

2. Metode

Paper ini tebatas pada penyusunan kerangka berpikir sehingga untuk selanjutnya perlu dilakukan penelitian lanjutan menguji *framework* sebagai model teoritis. *Framework* disusun berdasarkan referensi-referensi yang diperoleh dari *literature review* pada penelitian-penelitian dan jurnal ilmiah terdahulu, yaitu terdiri dari (1) tahap penentuan komponen kritis, (2) tahap penentuan *actual lifetime* dengan mengevaluasi pengaruh kovariat terhadap waktu kerusakan komponen, dan (3) tahap penentuan interval waktu perawatan terbaik berdasarkan minimasi biaya.

2.1 Tahap 1: penentuan komponen kritis

Jalan rel kereta api terdiri dari beberapa komponen yaitu lengkung, rel lurusan, wesel, balas, bantalan, sambungan, dan perlintasan. Pada tahap ini, *tools* yang digunakan untuk menentukan komponen kritis adalah *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dengan menghitung tingkat prioritas risikonya (RPN). FMEA adalah suatu prosedur terstruktur untuk mengidentifikasi dan mencegah sebanyak mungkin mode kegagalan. Beberapa langkah dasar dalam proses FMEA, yaitu (1) mengidentifikasi ruang lingkup dan tujuan dilakukannya FMEA, (2) melakukan *brainstorming* berbagai bentuk kemungkinan kegagalan pada jalan rel, (3) membuat daftar dampak masing-masing kegagalan, (3) menilai tingkat dampak kegagalan, (4) menilai tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan, (5) menilai tingkat kemungkinan deteksi, dan (6) menghitung tingkat prioritas risiko kemudian mengurutkannya. Komponen dengan nilai RPN tertinggi adalah komponen paling kritis.

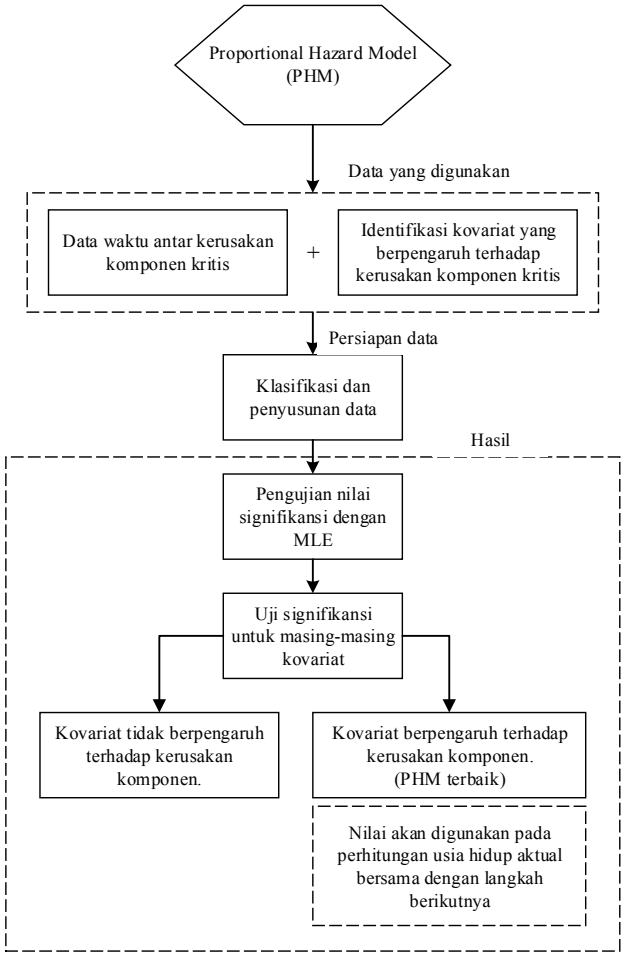
2.2 Tahap 2: penentuan *actual lifetime*

Penentuan *actual lifetime* dilakukan melalui evaluasi pengaruh kovariat terhadap waktu kerusakan komponen. Metode yang digunakan pada tahap ini adalah *Proportional Hazard Model*, yaitu suatu model dengan tipe regresi yang secara luas diaplikasikan pada situasi dimana kemungkinan kegagalan suatu individu pada suatu waktu yang dipengaruhi oleh satu atau lebih variabel (Coit dan English, 1999). Data yang diperlukan pada tahap ini

ISBN 978-602-73461-8-5

adalah data waktu antar kerusakan komponen (TTF) dan variabel-variabel (kovariat) yang mungkin berpengaruh terhadap kerusakan komponen tersebut. Masing-masing data kovariat diklasifikasi dan disusun secara berurutan. Selanjutnya dilakukan pengujian nilai signifikansi yang ditentukan dengan metode *maximum likelihood estimation (MLE)*, yaitu suatu nilai tunggal yang dihitung berdasarkan pengukuran dari sampel dan digunakan sebagai penduga dari nilai parameter populasi yang nilainya tidak diketahui. Kovariat yang digunakan hanyalah kovariat yang berkontribusi secara signifikan (*sign* < α). Output dari proses ini adalah PHM terbaik yang kemudian digunakan sebagai input untuk menghitung *actual lifetime* dengan Persamaan 1. Proses evaluasi kondisi terkini dari komponen kritis diilustrasikan pada Gambar 1.

$$\theta_a = \theta \left(exp(\beta 1X1 + \beta 2X2 + \ldots + \beta pXp)\right)^{-\left(\frac{1}{\beta}\right)} \quad (1)$$



Gambar 1. Proses evaluasi kovariat terhadap kerusakan komponen
(Sumber: Ahmad dkk, 2011)

2.3 Tahap 3: penentuan interval waktu perawatan terbaik

Untuk menentukan interval waktu perawatan, langkah pertama ialah menentukan distribusi waktu antar kerusakan komponen. Distribusi yang umum digunakan dalam mengidentifikasi distribusi kerusakan adalah distribusi Weibull, normal, lognormal, dan

ISBN 978-602-73461-8-5

eksponensial. Untuk menentukan distribusi kerusakan, identifikasi awal dapat menggunakan persamaan pada table 1 (Ebeling, 1997).

Tabel 1 Rumus menentukan jenis distribusi

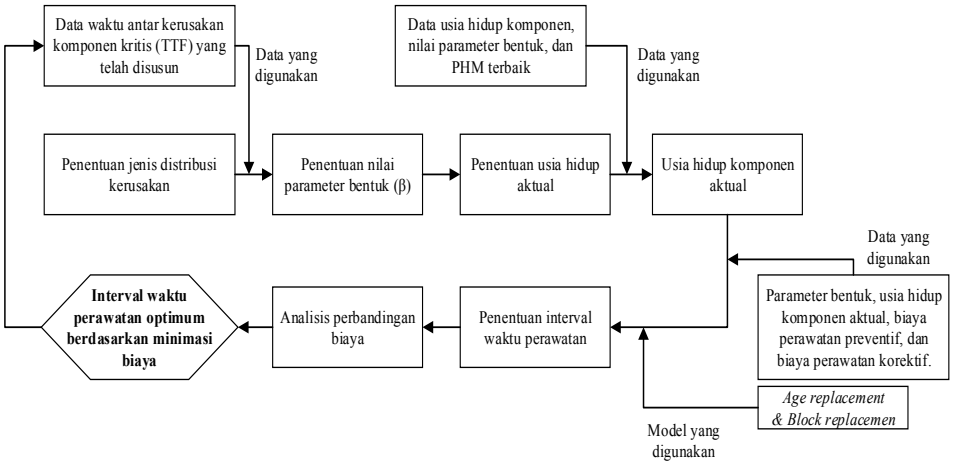
Jenis Distribusi	Variabel x_i	Variabel y_i
Weibull	$ln\ t_i$	$ln\ ln\left[\frac{1}{(1-\hat{F}(t_i))}\right]$
Normal	t_i	$\Phi^{-1}\left[\hat{F}(t_i)\right]$
Lognormal	$ln\ t_i$	$\Phi^{-1}\left[\hat{F}(t_i)\right]$
Eksponensial	t_i	$ln\left[\frac{1}{(1-\hat{F}(t_i))}\right]$

$$\widehat{F}(t_i) = \frac{i - 0,3}{n+0,4}$$

(Sumber: Ebeling,1997)

Dimana i adalah data waktu ke-t, n adalah jumlah data kerusakan, dan t_i adalah data ke-i. Selanjutnya adalah melakukan perhitungan *index of fit.* Distribusi yang terpilih adalah distribusi dengan nilai *index of fit* terbesar. Data yang digunakan pada tahap ini adalah data waktu antar kerusakan komponen (TTF) yang kemudian menghasilkan output yaitu parameter bentuk (β) dan parameter skala (η). Nilai parameter-parameter tersebut digunakan untuk menghitung *actual lifetime* bersama dengan hasil PHM yang terbentuk pada tahap sebelumnya.

Tahap berikutnya yaitu menentukan interval waktu perawatan berdasarkan minimasi biaya. Input yang digunakan pada proses ini adalah biaya perawatan preventif, biaya perawatan korektif, dan ekspektasi laju kerusakan kumulatif selama interval (0, tp). Data-data tersebut diinputkan ke persamaan *block replacement* dan *age replacement* sehingga menghasilkan biaya perawatan. Interval terpilih adalah interval dengan biaya perawatan paling minimum. Proses penentuan interval waktu perawatan diilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses penentuan interval waktu perawatan optimum

ISBN 978-602-73461-8-5

Rumus untuk menentukan interval waktu perawatan dengan menggunakan *block replacement* dapat dilihat pada Persamaan 2 dan *age replacement* pada Persamaan 3.

$$C(tp) = \frac{Cp+Cf.\left(\frac{\beta}{\theta}\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1}\right)}{tp} \quad \text{.....(2)}$$

$$C(tp) = \frac{(Cp.R(tp)+Cf(1-R(tp))}{[(tp+tp)(R(tp)]+ [(M(tp)+Tf)(1-R(tp)]} \quad \text{.....(3)}$$

Dimana (tp) adalah interval waktu perawatan preventif, (Cp) adalah biaya perawatan preventif, (Cf) adalah biaya perawatan korektif, (R(tp)) adalah probabilitas terjadinya siklus pencegahan, (M(tp)+Tf) adalah ekspektasi panjang siklus kerusakan, (β) adalah parameter bentuk, dan (θ) adalah *actual lifetime* yang diperleh dari tahap sebelumnya.

2.4 Validasi *framework*

Framework optimasi interval perawatan ini akan diterapkan di Unit Pelaksana Teknis (UPT) Resor 6.5 PT. Kereta Api Indonesia (Persero) Daop VI Yogyakarta. Subjek yang digunakan pada penelitian adalah sambungan jalan rel yang berkontribusi besar terhadap gangguan perjalanan kereta api. Tekanan yang diterima sambungan pada saat kereta melintas menyebabkan balas di bawahnya menjadi tidak padat, hal itu menyebabkan sambungan menjadi semakin rentan rusak.

Saat ini, UPT. Resor 6.5 Yogyakarta melaksanakan siklus perawatan sambungan jalan rel setiap 45 hari berdasarkan pada pedoman perusahaan. Akan tetapi, terdapat masalah di lapangan yaitu sejak tahun 2016, volume pekerjaan perbaikan sambungan meningkat sehingga berdampak pada meningkatnya biaya perawatan. Oleh karena itu, *framework* ini dibangun untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Laporan perawatan bulanan UPT. Resor 6.5 Yogyakarta digunakan sebagai sumber data. Data-data yang digunakan adalah data waktu antar kerusakan (TTF), biaya perawatan preventif, biaya perawatan korektif, dan variabel-variabel yang mungkin berpengaruh terhadap kerusakan komponen.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, subjek berupa sambungan jalan rel berjumlah 66 unit sepanjang 24,5 km dari Stasiun Patukan hingga Stasiun Maguwo. Selama 2 tahun terakhir, volume pekerjaan perawatan sambungan meningkat seperti terlihat pada Gambar 4. Selanjutnya, tahap awal penelitian adalah menentukan komponen kritis menggunakan *failure mode and effect analysis* (FMEA). Hasil tahap pertama ditunjukkan pada Tabel 2.

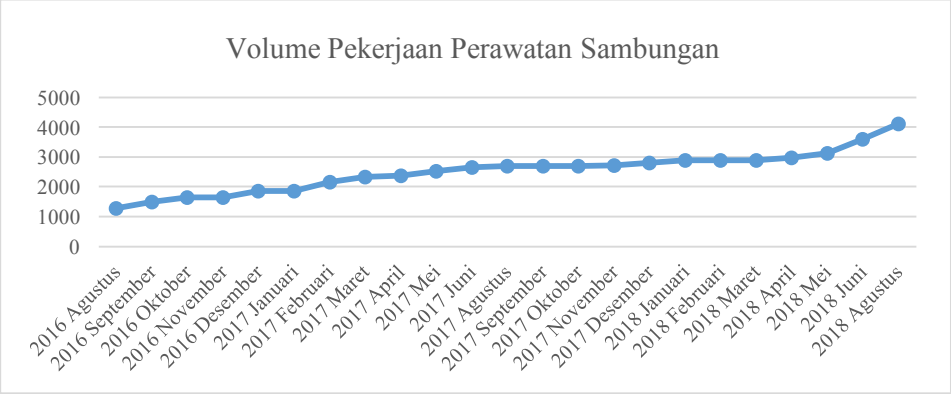
Selain itu, data lain yang berhasil dikumpulkan pada tahap awal penelitian adalah biaya perawatan preventif dan biaya perawatan korektif, dapat dilihat pada Tabel 3. Biaya perawatan preventif terdiri dari biaya tenaga kerja yang dihitung setiap 1 M'sp (satu meter sepur) atau masing-masing 3 meter kiri dan kanan sambungan. Perawatan yang dimaksud adalah aktifitas angkatan dan listringan, yaitu pemadatan balas dibawah sambungan agar tetap kokoh dan tidak terjadi genjotan sehingga sambungan tidak mudah rusak. Sedangkan biaya perawatan korektif adalah biaya perawatan preventif ditambah biaya kerugian jika kerusakan terjadi.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 2 Rincian biaya perawatan sambungan

Rincian	***Preventive Cost***	***Corrective Cost***
Upah kerja	Rp 40.500,00	Rp 45.250,00
Bahan pendukung habis pakai	-	Rp 184.360,00
Pengamanan dan transportasi	-	Rp 23.000,00
Total	Rp 40.500,00	Rp 252.610,00
Keterangan	/1 M'sp atau masing-masing 3 meter kiri dan kanan sambungan	/satu titik rel depek atau sepanjang 100 mm

(Sumber: Buku koefisien analisa harga satuan departemen Track & Bridge)



Gambar 4 Peningkatan volume pekerjaan perawatan sambungan
(Sumber: Dokumen UPT. Resor 6.5 Yogyakarta)

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 3 *Failure mode and effect analysis* komponen jalan rel

No	Item	Mode kegagalan	Efek kegagalan	S	Penyebab kegagalan	O	Existing Control	D	RPN
1	Wesel	Komponen wesel tidak berada pada posisi yang benar atau rusak.	Terjadi anjlokan pada saat berpindah sepur.	7	Penggunaan terus menerus, modifikasi komponen tidak baik.	6	Pemeriksaan rutin pada seluruh komponen wesel.	3	126
2	Lengkung	Terjadi skilu (perbedaan pertinggian yang sebenarnya antara 2 titik sepanjang 3 m).	Terjadi anjlokan di jalur lengkung.	9	Penggunaan terus menerus.	8	Pemeriksaan rutin pada jalur lengkung menggunakan alat, memastikan skilu berada pada batasnya.	2	144
3	Sambungan	Terdapat retak pada sambungan, baut sambungan longgar, pelat sambung rusak.	Terjadi anjlokan, dan penurunan kualitas jalan rel.	8	Penggunaan terus menerus, penggunaan material penyambung yang kurang baik.	7	Pemeriksaan rutin pada seluruh komponen sambungan secara manual, memastikan baut sambung tetap kencang, memastikan jarak antar sambungan sesuai standar.	3	168
4	Bantalan	Bantalan kayu lapuk, bantalan besi bengkok, posisi bantalan berubah.	Lebar jalan rel berubah, terjadi goyangan keras, terjadi anjlokan, dan penurunan kualitas jalan rel.	7	Umur kayu yang digunakan untuk bantalan muda sehingga mudah lapuk, pemuaian bantalan besi akibat lingkungan.	6	Pemeriksaan rutin, penggantian menjelang habisnya umur hidup bantalan, penggantian bantalan lapuk.	3	126
5	Balas	Terjadi kecrotan atau volume balas kurang.	Terjadi goyangan keras, terjadi anjlokan, dan penurunan kualitas jalan rel.	6	Pencurian, lingkungan, penggunaan terus menerus.	4	Memprofilkan balas secara rutin setahun dua kali, penambahan balas setahun sekali, memastikan volume balas sesuai standar.	3	72
6	Rel lurusan	Rel aus, tidak rata, retak, patah, gompal, memuai.	Penurunan kualitas jalan rel, rel retak/putus, terjadi anjlokan.	8	Pemuaian akibat lingkungan, penggunaan terus menerus, penggunaan material untuk memopok rel.	4	Pemeriksaan rutin, memastikan kondisi rel sesuai dengan standar, melakukan pemopokan pada rel aus.	2	64
7	Perlintasan	Jalur kereta api pada pertemuan dengan jalan raya tidak rata.	Penurunan kualitas jalan rel.	1	Penggunaan terus menerus	1	Pemeriksaan rutin untuk memastikan kerataan jalan.	1	1

ISBN 978-602-73461-8-5

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan *literature review*, disusun kerangka berpikir untuk menentukan interval perawatan jalan rel yang optimal berdasarkan minimasi biaya sehingga diperoleh komponen yang handal dengan biaya perawatan minimum menggunakan kombinasi beberapa metode yaitu. *failure mode and effect analysis (FMEA), proportional hazard model (PHM), age replacement,* dan *block replacement.* Komponen kritis yang akan menjadi subjek penelitian berdasarkan FMEA adalah sambungan jalan rel.

Metode *age replacement* memiliki keuntungan yaitu tidak ada komponen yang akan diganti sebelum usia pakainya habis tapi sulit diaplikasikan pada sistem yang memiliki komponen sama dalam jumlah besar, dalam hal ini komponen jalan kereta. Sebaliknya *block replacement* memiliki keuntungan yaitu mudah diaplikasikan pada sistem yang memiliki komponen sama dalam jumah besar tapi aka nada komponen yang diganti sebelum usia pakainya habis. Sedangkan *proportional hazard model* dapat mengatasi masalah utama *block replacement* dalam penentuan laju kerusakan terjadi selama interval perawatan dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhinya.

Paper ini tebatas pada penyusunan kerangka berpikir sehingga untuk selanjutnya perlu dilakukan penelitian lanjutan menguji *framework* sebagai model teoritis. Penyusunan kerangka berpikir ini diharapkan dapat memberi dampak positif bagi transportasi kereta api, serta diharapkan dapat berkontribusi dalam mengurangi resiko terjadinya kecelakaan kereta api akibatkerusakan komponen jalan rel.

Daftar Pustaka

Ahmad, R., Kamaruddin, S., Azid, I., and Almanar, I., 2011, Maintenance Management Decision Model for Preventive Maintenance Strategy on Production Equipment, *Journal of Industrial Engineering*, vol. 7, no. 13, pp. 22-34.

Albert, M.A.H., 2015, Penentuan *Remaining Useful Life* pada Sebuah Industri Menggunakan Metode Proportional Hazard, *Skripsi Jurusan Teknik Industri FT UGM,* Yogyakarta.

Badan Pusat Statistik, 2017, *Jumlah Penumpang Kereta Api,* http//bps.go.id, online accessed on 3 Maret 2018.

Bahrami-G, K., Price, J.W.H, and Mathew, J., 2000., The Constant-Interval Replacement Model for Preventive Maintenance: a New Prespective, *Journal of Quality in Maintenance Engineering,* vol. 17, no. 8, pp. 822-838.

European Standard, 2010, *Maintenance: Maintenance Terminology*, British Standard Institution.

Famurewa, S.M., Zhang, L., and Asplund, M., 2017, Maintenance Analytics for Railway Infrastructure Decision Support, *Journal of Quality in Maintenance Engineering,* vol. 23, no. 3, pp. 310-325.

Holmgren, M., 2005, Maintenance-related Losses at the Swedish Rail, *Journal of Quality in Maintenance Engineering,* vol. 11, no. 1, pp. 5-18.

Jardine, A.K.S., and Tsang, A.H.C., 2013, *Maintenance Replacement and Reliability 2nd ed.*, CRC Press, Florida.

Komite Nasional Keselamatan Transportasi, 2017, *Accident Reports,* http://knkt.dephub.go.id, online accessed on 5 Sept. 2017.

Labib, A.W., 2004, A Decision Analysis Model for Maintenance Policy Selection Using a CMMS, *Journal of Quality in Maintenance Engineering,* vol. 10, no. 3, pp. 191-202.

Lim, J.H., Qu, J., and Zuo, M.J., 2016, Age Replacement Policy Based on Imperfect Repair with Random Probability, *Journal of Reliability Engineering and System Safety,* vol. 149, pp. 24-33.

ISBN 978-602-73461-8-5

Liu, X., Saat, M.R., and Barken, C.P.L., 2012, Analysis of Causes of Major Train Derailment and Their Effect on Accident Rates, *Journal of Transportation Research Board,* no. 2289, pp. 154-163.

Macedo, R., Benmansour, R., Artiba, A., Mladenovic, N., and Urosevic, D., 2017, Scheduling Preventive Railway Maintenance Activities with Resource Constraints, *Electronic Notes in Discrete Mathematics,* vol. 56, pp. 215-222.

Pusponegoro, D.T., 2014, Pengembangan Sistem Perawatan pada Komponen Sistem Pendingin Lokomotif dengan Menggunakan Pendekatan *Proportional Hazard Model, Skripsi Jurusan Teknik Industri FT UGM,* Yogyakarta.

Sheu, S-H., and Griffith, W.S., 2002, Extended Block Relacement Policy with Shock Models and Used Items, *Journal of the Operational Research Society*, vol. 140, pp. 50-60.

Tabriz, A.A., Khorshidvand, B., and Ayough, A., 2016, Modelling Age Based Replacement Decisions Considering Shock and Failure Rate, *Journal of Quality in Maintenance Engineering,* vol. 33, no. 1, pp. 107-119.

Tam, A.S.B., Chan, W.M., and Price, J.W.H., 2006, Optimal Maintenance Intervals for a Multi-component System, *Production Planning & Control,* vol. 17, no. 8, pp. 769-779.

ISBN 978-602-73461-8-5

Kajian Awal Pengembangan Model Tata Kelola Sampah Menggunakan Pemodelan Sistem Dinamis

Yekti Condro Winursito, Anna Maria Sri Asih
Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika no. 2, Bulaksumur Yogyakarta, 55281
E-mail : ycw.seto@gmail.com

Intisari

Sampah saat ini telah menjadi masalah yang sangat serius yang perlu di perhatikan. Kabupaten Sleman merupakan salah satu kabupaten yang berada di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta dengan jumlah penduduk terbanyak. Jumlah kelahiran dan kedatangan penduduk jumlahnya lebih besar daripada tingkat kematian dan perpindahan penduduk, sehingga akan akan berdampak pada meningkatnya jumlah timbunan sampah yang ada di Kabupaten Sleman. Berat rata-rata sampah residu terlayani dinas yang dihasilkan oleh Kabupaten Sleman mencapai 4.445.970 kg/bulan. Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman menargetkan reduksi sampah dari sumber sebesar 30% pada tahun 2025. Tujuan dari penelitian ini mengembangkan model konseptual tata kelola sampah di Kabupaten Sleman dengan menggunakan sistem dinamis. Kajian awal yang dilakukan adalah dengan penentuan variabel yang berpengaruh dalam pengelolaan sampah g berdasarkan pada penelitian terdahulu yang sudah pernah dilakukan yang kemudian digunakan dalam formulasi dynamic hypothesis. Untuk langkah selanjutnya yang dapat dilakukan adalah formulasi model simulasi, dan testing yang kemudian dilakukan analisis skenario perbaikan.

Kata Kunci : Pengelolaan sampah, modelling, system dynamic

1. Pendahuluan

Sampah saat ini telah menjadi masalah yang sangat serius yang perlu di perhatikan. Sukholthaman (2016) mengatakan bahwa banyaknya timbunan sampah akan berpengaruh pada isu sosial, ekonomi, dan lingkungan. Jumlah sampah dunia mencapai 1,3 miliar ton per tahun pada tahun 2016 dan diperkirakan akan meningkat menjadi 2,2 miliar ton pada tahun 2025. Pengelolaan sampah merupakan suatu hal yang perlu dilakukan saat ini guna mencapai kesejahteraan hidup. Guna menanggapi permasalahan ini maka perlu adanya dukungan masyarakat dan pemerintah dalam menangani permasalahan terkait dengan sampah.

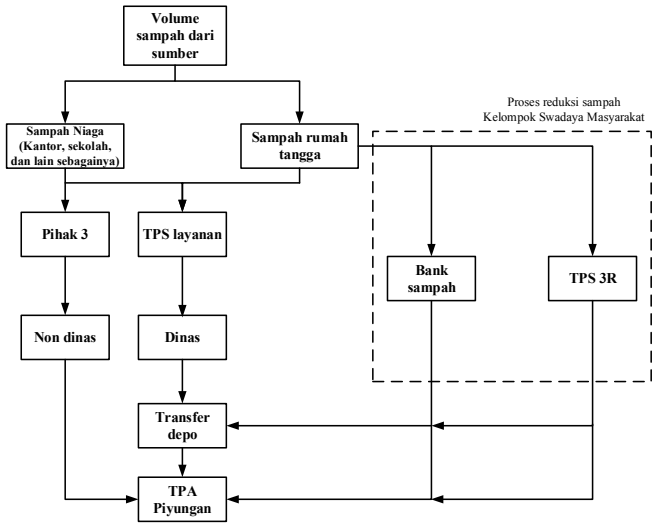
Kabupaten Sleman merupakan salah satu kabupaten yang berada di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta dengan jumlah penduduk terbanyak. Purnomo (2017) mengatakan bahwa jumlah penduduk Sleman pada tahun 2016 mencapai 1.079.053 jiwa dengan luas wilayah mencapai 574,82 km^2 dan terbagi atas 17 wilayah kecamatan. Saat ini tingkat kelahiran dan kedatangan penduduk jumlahnya lebih besar daripada tingkat kematian dan perpindahan penduduk. Banyaknya jumlah penduduk yang ada di Kabupaten Sleman maka akan diikuti dengan peningkatkan infrastruktur seperti bandara, tempat pariwisata, tempat perbelanjaan, instansi pemerintahan, hingga instansi pendidikan. Dengan semakin meningkatnya infrastruktur maka akan berdampak pada meningkatnya jumlah timbunan sampah yang ada di Kabupaten Sleman.

ISBN 978-602-73461-8-5

Reduksi sampah di Kabupaten Sleman saat ini dilakukan dengan 2 cara yaitu pemilahan dan daur ulang sampah oleh KSM yang terdiri dari bank sampah dan pemisahan oleh TPS 3R. Jumlah bank sampah yang ada di Kabupaten Sleman saat ini adalah 247, dan jumlah TPS 3R sebanyak 19. Bank sampah sampah dikelola oleh kelompok masyarakat secara sukarela sedangkan TPS3 R dikelola oleh pihak dinas. Berat rata-rata sampah residu yang dibawa menuju TPA yang dihasilkan oleh Kabupaten Sleman mencapai 4.445.970 kg/bulan. Berdasarkan data berat sampah yang dihasilkan dan hasil wawancara dengan pihak dinas lingkungan hidup Kabupaten Sleman bahwa saat ini berat sampah dari sumber yang tereduksi di Kabupaten Sleman sebesar 8 % dan mereka menargetkan reduksi sampah dari sumber sebesar 30% pada tahun 2025. Perlu adanya pengembangan tata cara kelola sampah dengan berbagai macam alternatif sistem tata kelola sampah sehingga mampu mereduksi jumlah sampah residu yang dibawa menuju TPA agar target yang pemerintah inginkan dapat tercapai.

2. Metode

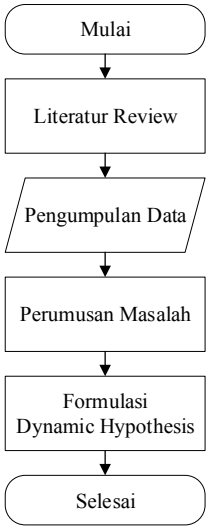
Penelitian ini dilakukan di lingkup tata kelola sampah yang ada di Kabupaten Sleman yang ada di provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Luas wilayah Kabupaten Sleman adalah 574,82 km^2 dan terdiri dari 17 kecamatan 86 desa. Untuk mempermudah dalam penelitian ini maka perlu didukung dengan data yang berhubungan dengan kegiatan ini. Data yang di gunakan berupa data primer dan data sekunder. Pemodelan sistem dinamis digunakan untuk menggambarkan tingkah laku dan hubungan antara variabel dalam suatu sistem sehingga dapat memberikan informasi mengenai keadaan sistem dari waktu ke waktu. Batasan sistem dinamis dalam penelitian ini adalah pada tata kelola aliran sampah yang ada di Kabupaten Sleman seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Aliran model tata kelola sampah Kabupaten Sleman

Kajian awal sistem dinamis secara detail dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 2. Diagram alir penelitian

2.1 *Literatur Review*

Tahapan pertama dalam penelitian ini adalah *literatur review* mengenai sampah, pengelolaan sampah, sistem dinamis, dan validasi model berdasarkan buku dan paper penelitian terdahulu. *Literatur review* bertujuan sebagai pendukung dalam pemecahkan masalah.

2.2 Perumusan Masalah

Pada tahap ini dilakukan penentuan tujuan, variabel kunci, dan *reference modes.* Penentuan tujuan model berdasarkan masalah yang didapatkan setelah dilakukan wawancara dan survey lapangan. *Reference modes* dibangun berdasarkan data history yang digambarkan dalam bentuk grafik yang merupakan diskripsi awal permasalahan.

2.3 Formulasi *Dynamic Hypothesis*

Pada tahap awal sistem dinamis dibangun *model boundary diagram* dengan batasan tertentu yang mencakup semua variabel yang terlibat yang dikelompokan menjadi variabel eksogen dan variabel endogen (Sterman, 2000). Langkah selanjutnya yaitu melakukan penyusunan hipotesis berdasarkan kerangka berpikir sebagai jawaban sementara atas perilaku sistem tata kelola sampah yang ada di Kabupaten Sleman dengan bantuan alat *causal loop diagram*. Dalam *causal loop diagram* terdapat variabel-variabel saling berinteraksi antara yang satu dan yang yang memiliki hubungan timbal balik.

3. Hasil dan Pembahasan

Tahap awal penelitian ini adalah penentuan variabel yang berpengaruh dalam pengelolaan sampah. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada penelitian terdahulu yang sudah pernah dilakukan. Kelompok variabel pada penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi terdiri dari variabel subsistem pertumbuhan sampah dan subsistem reduksi sampah. Variabel yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 1. Variabel subsistem pengelolaan sampah

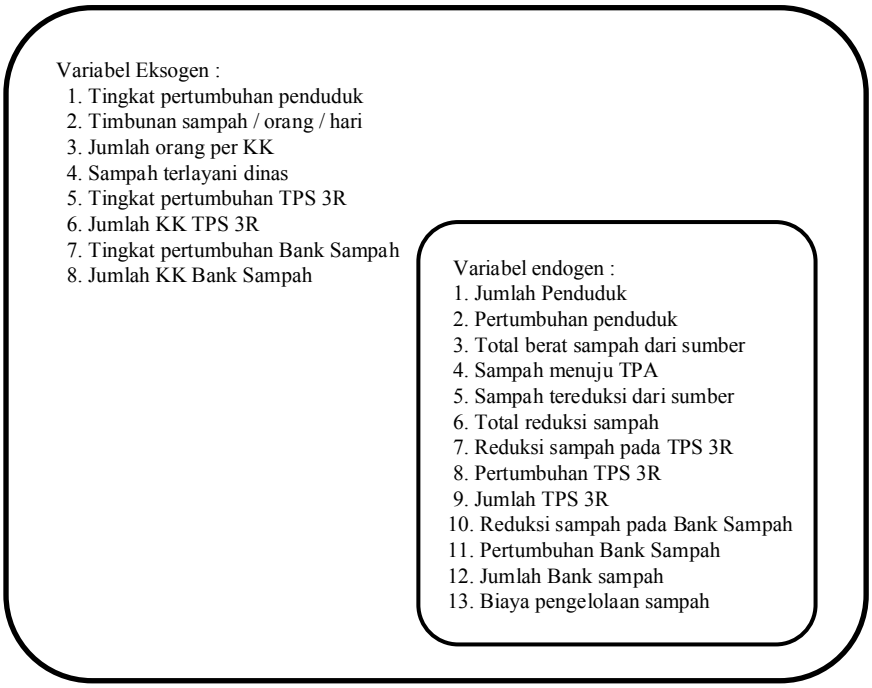
Variabel	Referensi
Jumlah penduduk	Sufian dan Bala (2006), Sukholtaman dan Sharp (2016), Surjandari dkk (2009), Agustia (2014), Dyson dan Chang (2005), Kharismawati (2018).
Tingkat pertumbuhan penduduk	Sufian dan Bala (2006), Sukholtaman dan Sharp (2016), Surjandari dkk (2009), Agustia (2014), Dyson dan Chang (2005), Kharismawati (2018).
Pertumbuhan penduduk	Sufian dan Bala (2006), Sukholtaman dan Sharp (2016), Surjandari dkk (2009), Dyson dan Chang (2005), Karavezyris dkk (2002),
Total berat sampah dari sumber	Sukholtaman dan Sharp (2016), Surjandari dkk (2009), Surjandari dkk (2009), Agustia (2014), Karavezyris dkk (2002), Kharismawati (2018).
Timbunan sampah/orang/hari	Sufian dan Bala (2006), Surjandari dkk (2009), Dyson dan Chang (2005), Kharismawati (2018).
Jumlah orang per KK	Agustia (2014), Dyson dan Chang (2005), Kharismawati (2018).
Sampah terlayani dinas	Kharismawati (2018).
Variabel	Referensi
Sampah menuju TPA	Sufian dan Bala (2006), Agustia (2014), Kharismawati (2018).
Sampah tereduksi dari sumber	Sufian dan Bala (2006), Sukholtaman dan Sharp (2016), Kharismawati (2018).
Total reduksi sampah	Sufian dan Bala (2006), Sukholtaman dan Sharp (2016), Surjandari dkk (2009), Agustia (2014), Dyson dan Chang (2005), Karavezyris dkk (2002), Kharismawati (2018).
Reduksi sampah pada TPS 3R	Kharismawati (2018).
Tingkat pertubuhan TPS 3R	Kharismawati (2018).
Pertumbuhan TPS 3R	Kharismawati (2018).
Jumlah TPS 3R	Kharismawati (2018).
Jumlah KK TPS 3R	Kharismawati (2018).
Reduksi sampah pada bank sampah	Agustia (2014), Kharismawati (2018).
Tingkat pertubuhan bank sampah	Agustia (2014), Kharismawati (2018).
Pertumbuhan bank sampah	Agustia (2014), Kharismawati (2018).
Jumlah bank sampah	Agustia (2014), Kharismawati (2018).
Jumlah KK bank sampah	Agustia (2014), Kharismawati (2018).
Biaya pengelolaan sampah	Agustia (2014), Kharismawati (2018).

Reference modes merupakan suatu pola perilaku yang berubah dari waktu ke waktu berdasarkan data historis yang telah ada. Dalam penelitian ini mengacu pada data historis berat sampah di Kabupaten Sleman yang dibawa menuju TPA pada tahun 2015-2017 yang dapat dilihat pada Gambar 3.

ISBN 978-602-73461-8-5

Gambar 3. Berat sampah tiap bulan (DLH Sleman, 2018)

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah formulasi *dynamic hypothesis* dengan membangun *model boundary diagram* dan *causal loop diagram*. *Model boundary diagram* yang dibangun dalam penelitian ini terdiri dari beberapa variabel yang memiliki batasan dan dikelompokan menjadi dua yaitu variabel endogend dan variabel eksogen. Variabel eksogen merupakan variabel yang mempengaruhi variabel lain, sedangkan variabel endogen merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel lain.

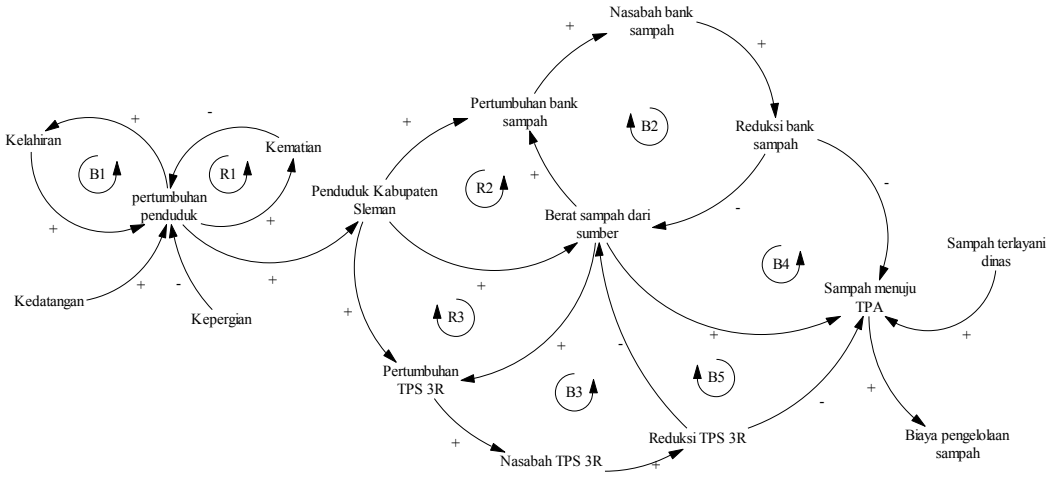


Gambar 4. Variabel eksogen dan endogen

Causal loop diagram terdiri atas variabel-variabel saling berinteraksi antara yang satu dan yang lainnya dengan dihubungkan dengan anak panah. Terdapat dua macam simbol pada anak panah yaitu simbol positif dan simbol negatif. Anak panah positif mengindikasikan bahwa nilai suatu variabel yang naik maka akan meningkatkan nilai variabel yang lainnya, sedangkan anak panah negatif mengindikasikan bahwa suatu variabel yang meningkat akan menurunkan nilai variabel yang lainnya. Loop yang ada pada

ISBN 978-602-73461-8-5

causal loop diagram terdiri atas 2 macam loop yaitu *reinforcing loop* yang mengindikasikan bahwa variabel saling menguatkan dan *balancing loop* yang mengindikasikan variabel saling bertolak belakang. *Causal loop diagram* pengelolaan sampah di Kabupaten Sleman secara umum dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. *Causal loop diagram* pengelolaan sampah Kabupaten Sleman

Dari Gambar 5 terlihat bahwa sumber utama peningkatan jumlah sampah yang ada di Kabupaten Sleman adalah tingkat pertumbuhan penduduk yang dipengaruhi oleh kelahiran (loop B1), kematian (loop R1), penduduk yang datang, dan penduduk yang pergi. Kelahiran dan kedatangan penduduk akan meningkatkan pertumbuhan penduduk, sedangkan kematian dan perpindahan penduduk akan menurunkan pertumbuhan penduduk. Berdasarkan data Dinas Catatan Sipil Kabupaten Sleman (2018) menyebutkan bahwa tingkat kelahiran dan kedatangan penduduk jumlahnya lebih besar daripada tingkat kematian dan perpindahan penduduk dalam sepuluh tahun terakhir, sehingga akan berdampak pada meningkatkan jumlah sampah yang berasal dari sumber. Untuk menanggulangi semakin banyaknya jumlah sampah dari sumber maka pihak Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman perlu menyediakan bank sampah (loop R2) dan TPS 3R (loop R3) untuk melakukan reduksi sampah. Semakin bertambahnya jumlah bank sampah dan TPS 3R maka jumlah nasabah bank sampah (loop B2) dan nasabah TPS 3R (loop B3) akan semakin bertambah sehingga reduksi sampah oleh bank sampah (loop B4) dan TPS 3R (loop B5) akan semakin besar dan jumlah sampah menuju TPA berkurang. Jumlah rata-rata persentase pelayanan sampah yang terlayani dinas di Kabupaten Sleman akan berpengaruh terhadap total sampah dari sumber untuk dibawa menuju TPA dimana semakin besar persentase pelayanan sampah maka semakin besar pula jumlah sampah yang dibuang menuju TPA sehingga akan berdampak pada tingginya biaya pengelolaan sampah. Tahap dalam penelitian selanjutnya yang perlu dilakukan adalah formulasi model simulasi dengan melakukan penyusunan *stock flow diagram* berdasarkan variabel-variabel yang ada pada *causal loop diagram*. Model yang dibuat dikembangkan menjadi lebih spesifik sehingga mampu membentuk aliran informasi dan model matematis dari simulasi tata kelola sampah yang ada di Kabupaten Sleman yang dilakukan dengan *software.* Setelah penyusunan SFD kemudian dilakukan uji testing terhadap model yang dibuat dan penyusunan skenario perbaikan.

ISBN 978-602-73461-8-5

4. Kesimpulan dan Saran

Model simulasi pengelolaan sampah yang ada di Kabupaten Sleman dibuat dengan batasan dua puluh satu variabel yang terbagi atas subsistem pertumbuhan sampah dan subsistem reduksi sampah. Sub sistem pertumbuhan sampah terdiri atas jumlah penduduk, tingkat pertumbuhan penduduk, pertumbuhan penduduk, total berat sampah dari sumber, timbunan sampah/orang/hari, jumlah orang/KK, sampah terlayani dinas, dan sampah menuju TPA. Subsistem reduksi sampah terdiri atas sampah tereduksi dari sumber, total reduksi sampah, reduksi sampah TPS 3R, tingkat pertumbuhan TPS 3R, pertumbuhan TPS 3R, jumlah TPS 3R, jumlah KK TPS 3R, reduksi sampah pada bank sampah, tingkat peertumbuhan bank sampah, pertumbuhan bank sampah, jumlah bank sampah, jumlah nasabah bank sampah, dan biaya pengelolaan sampah. *Causal loop diagram* dibuat berdasarkan wawancara terhadap Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman dan penelitian terdahulu. Data primer dan data sekunder digunakan untuk input data simulasi, yang kemudian model dilakuakn pengujian dan pengembangan.

Daftar Pustaka

Agustia, Y. P., 2014, *Model Sistem Dinamik Pada Pengembangan Pengelolaan Sampah Kecamatan Gubeng, Kota Surabaya*, Tesis S2 Teknik Lingkungan ITS, Surabaya.

Dyson, B. and Chang, N., 2005, Forecasting Municipal Solid Waste Generation In A Fast-Growing Urban Region With System Dynamics Modeling, 25, pp. 669–679.

Karavezyris, V., Timpe, K. and Marzi, R., 2002, Application of System Dynamics and Fuzzy Logic to Forecasting of Municipal Solid Waste, 60, pp. 149–158.

Kharismawati, W., 2018, *Evaluasi dan Perencanaan Aspek Teknis Operasional Pengelolaan Sampah Kabupaten Sleman*, Skripsi S1 Teknik Lingkungan UII, Yogyakarta.

Purnomo, S. 2017. *Sleman Hasilkan Sampah 534 ton Per Hari*. https://www.koranbernas.id/sleman-hasilkan-sampah-534-ton-per-hari/ (Online accessed : December 4th 2017)

Sterman, J. D., 2000, *Business Dynamics Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Irwin McGraw-Hill, New York.

Sufian, M. A. and Bala, B. K., 2006, Modeling of Urban Solid Waste Management System : The Case of Dhaka City', 27, pp. 858–868.

Sukholtaman, P. and Sharp, A., 2016, A System Dynamics Model To Evaluate Effects of Source Separation of Municipal Solid Waste Management : A Case of Bangkok , Thailand, *Waste Management. Elsevier Ltd.*

Surjandari, I., Hidayatno, A., and Supriatna, A., 2009, Model Dinamis Pengelolaan Sampah Untuk Mengurangi Beban Penumpukan, Jurnal Teknik Industri, Vol. 11, No. 2, Desember 2009, pp. 134-147.

ISBN 978-602-73461-8-5

TP – TEKNIK PRODUKSI

Departemen Teknik Mesin dan Industri FT UGM
ISBN 978-602-73461-8-5

Usulan *Preventive Maintenance* Mesin *Compactor* Menggunakan Metode *Reliability Block Diagram* untuk Menurunkan *Downtime* di PT. XYZ

Ade Irman, Evi Febianti, Putro Ferro Ferdinant, M. Kurnia Fauzan
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten
Jln. Jendral Sudirman Km. 3 Cilegon, Banten – 42435
Email: irman@untirta.ac.id[1] , evi@untirta.ac.id[2] , ferdinant@untirta.ac.id[3]
muhammadkurniafauzan@gmail.com[4]

Intisari

PT. XYZ adalah perusahaan yang bergerak dibidang manufaktur baja, salah satu divisi prioritas di PT. XYZ adalah divisi wire rod mill yang mengolah baja billet menjadi wire rod. Total waktu Downtime pada divisi ini cukup besar, mencapai 26,02% dari waktu total operasi. Mesin compactor merupakan mesin yang memiliki waktu Downtime tertinggi sebesar 9,87% dari total Downtime. Salah satu metode untuk menurunkan downtime mesin adalah penerapan preventive maintenance yang diusulkan berdasarkan nilai reliability mesin melalui metode reliability block diagram. Tujuan penelitian ini adalah menentukan komponen kritis, menentukan nilai reliability berdasarkan reliability block diagram, menentukan waktu preventive maintenance pada kehandalan 85%, dan mengetahui total Downtime sesudah penerapan preventive maintenance pada mesin compactor melalui simulasi Monte carlo. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa sub sistem kritis pada mesin compactor adalah binding units, hydraulic, wire and strap guide system. Nilai reliability untuk binding units sebesar 40,07%, hydraulic sebesar 44,26%, wire and strap guide system sebesar 33,59%. Usulan preventive maintenance tiap sub sistem adalah binding units setiap 8 hari, hydraulic setiap 14 hari, wire and strap guide system selama 20 hari. Selisih Downtime sebelum melakukan preventive dan setelah penerapan preventive maintenance adalah sebesar 1452 menit.

Kata kunci: Reliability Block Diagram, Preventive maintenance, Simulasi Monte Carlo

1. Pendahuluan

PT. XYZ merupakan perusahaan penghasil baja di Indonesia. Salah satu produk yang dihasilkannya adalah batang kawat (*Wire Rod*). Divisi *Wire Rod Mill* merupakan divisi yang bertanggungjawab dalam produksi Wire Rod di PT. XYZ. Berdasarkan data di divisi *Wire Rod Mill* dari bulan januari 2017 hingga bulan febuari tahun 2018 terdapat waktu *delay* atau *Downtime* semua *equipment* produksi yaitu 89.925 menit dari total waktu operasi 345.600 menit atau sebesar 26,019% dari waktu total operasi. Data *equipment* yang sering mengalami kerusakan adalah mesin *compactor*, yaitu sebesar 9,87% dari total *Downtime*. Mesin *compactor* diadakan pada pengadaan tahun 1998. Mesin *compactor* merupakan satu-satunya mesin yang ada di *Wire Rod Mill* yang berfungsi sebagai pengikat *coil* yang berada di area *finishing*, sehingga jika mesin *Compactor* mengalami kerusakan maka produksi akan terhambat dan perusahaan akan mengalami kerugian. Untuk meminimalisir *Downtime* yang diakibatkan oleh kegiatan

ISBN 978-602-73461-8-5

perawatan korektif maka dibutuhkan kegiatan perawatan yang dilakukan secara berkala atau perawatan *preventive* agar mesin dapat terus beroperasi dengan baik.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui komponen kritis pada mesin *compactor* kemudian mengetahui nilai keandalan mesin *compactor* menggunakan *reliability block diagram*. Kemudian membuat usulan *interval* waktu *preventive maintenance* mesin *compactor* untuk menjaga kondisi kehandalan 85%, dan membandingkan total *Downtime* sebelum dan sesudah *preventive maintenance*.

Menurut (Ebeling, 1997) perawatan atau (*maintenance*) adalah sebagai bentuk kegiatan yang dilakukan untuk mencapai hasil yang mengembalikan item atau mempertahankannya pada kondisi yang selalu dapat berfungsi. Selain itu Perawatan atau (*maintenance*) dapat diartikan sebagai kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan supaya terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan (Hasriyono, 2009).

Salah satu metode yang sering digunakan untuk menilai kenadalah suatu alat adalah *Reliability Block Diagram* (RBD). *Reliability Block Diagram* adalah metode untuk menganalisa keandalan sistem pada sistem besar dan kompleks dengan mengunakan diagram blok sistem (Ebeling, 1997). Pembuatan *reliability block diagram* dimulai dari menentukan *node* yang ditempatkan pada sisi kiri diagram sebagai *input*. Kemudian dibuat rangkaian seri atau parallel komponen yang berakhir pada *output node* pada sisi kanan diagram. Sebuah diagram hanya terdiri dari satu *input node* dan satu *output node.* Keandalan (Reliability) sendiri di definisikan sebagai probabilitas suatu peralatan atau komponen dapat berfungsi dengan baik dalam suatu periode waktu ketika digunakan berdasarkan kondisi operasi yang ditetapkan (Ebeling, 1997).

Untuk mendapatkan nilai keandalan suatu mesin/ alat/ komponen diperlukan data rata-rata waktu antar kerusakan (*Mean Time Between Failure)* yang pernah dialami oleh mesin/ alat/ komponen tersebut. Menurut Ebeling (1997) *Mean Time Between Failure* merupakan rata-rata waktu diantara kerusakan *Mean Time Between Failure* MTBF atau rata-rata waktu antar kegagalan adalah suatu ukuran seberapa handal (*reliable*) suatu produk atau komponen.

2. Metode

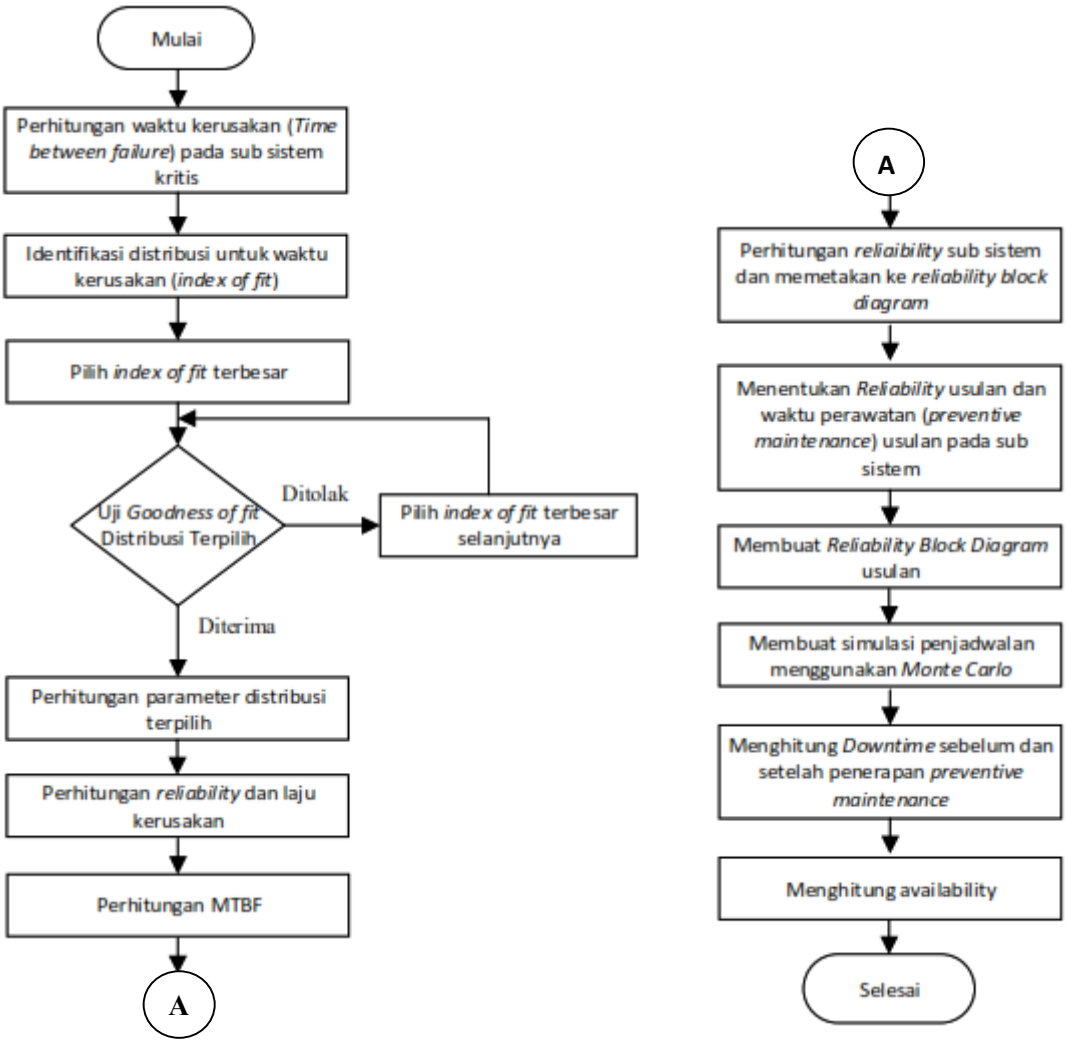
Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Metode kuantitatif disebut juga metode positivistik karena berdasarkan filsafat positisme. Disebut juga metode ilmiah karena memenuhi kaidah-kaidah ilmiah, yaitu empiris/kongrit, objektif, terukur, raisional, dan sistematis. Lokasi dilakukannya penelitian ini yaitu di bagian *Wire Rod Mill* PT. XYZ. Penelitian dimulai pada awal tahun 2018. Dalam penelitian ini terdapat dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder.

1) Data Primer: diagram *block* mesin *compactor* berdasarkan sub sistem, gambaran umum perusahaan, data kerusakan korektif dan perawatan, dan usulan waktu *time to repair*.
2) Data Sekunder: data *Downtime* yang dimiliki oleh pihak mekanik dalam kurun waktu 1 tahun.

2.1. Alur penelitian

Alur pada penilian ini dapat dilihat pada Gambar.1. Dari data *Downtime* mesin compactor kemudian melakukan perhitungan waktu antar kerusakan (TBF), setelah itu melakukan perhitungan *index of fit* tiap kandidat distribusi.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 1. *Flowchart* penelitian

Berikut adalah tahapan menghitung *index of fit.*
Nilai tengah:

$$F(t_i)\ \frac{(i\text{-}0{,}3)}{(n+0{,}4)} \quad \text{.....(2.1)}$$

Index of Fit:

$$\frac{n\ \Sigma xiyi\text{-}(\Sigma xi\Sigma yi)}{\sqrt{\{(n\Sigma xi^2)\text{-}(\Sigma xi)^2\}\text{-}\{(n\Sigma yi^2)\text{-}((\Sigma yi)^2)\}}} \quad \text{.....(2.2)}$$

Setelah menghitung *index of fit* tiap kandidat distribusi kemudian menghitung uji hipotesa atau *goodness of fit* yang bertujuan untuk seberapa tepat data mengikuti dugaan distribusi tersebut. Berikut adalah uji-uji hipotesa yang dipakai.

1. Uji Kolmogorov-Smirnov.
   Uji ini untuk distribusi normal dan lognormal.

$$Dn = \left\{\Phi\left(\frac{t_i - \bar{t}}{s}\right) - \frac{i-1}{n}\right\}, \left\{\frac{i}{n} - \Phi\left(\frac{t_i - \bar{t}}{s}\right)\right\} \quad \text{.....(2.3)}$$

ISBN 978-602-73461-8-5

2. Uji Barlett
   Uji ini untuk distribusi eksponensial.
   $$\beta = \frac{\left\{ln\left(\frac{1}{r}\right)\sum_i^r (t_i) - \left[\left(\frac{1}{r}\right)\sum_i^r ln(t_i)\right]\right\}}{1+\frac{(r+1)}{6r}} \quad \text{.....(2.4)}$$
3. Uji Mann's
   Uji ini untuk distribusi weibull.
   $$M = \frac{k_1 \sum_{i\text{-}k_{i+1}}^{r\text{-}1}\left[\frac{\ln(t_i+1)}{M_i}\right]}{k_2 \sum_{i\text{-}k_{i+1}}^{r\text{-}1}\left[\frac{\ln(t_i+1)}{M_i}\right]} \quad \text{.....(2.5)}$$

Setelah mengetahui hasil uji *goodness of fit* atau uji hipotesa tahap berikutnya adalah melakukan perhitungan parameter disetiap distribusinya. Setelah mengetahui nilai parameter tahap selanjutnya adalah menghitung nilai *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan menghitung nilai *reliability* atau kehandalan setiap sub sistem mesin *compactor*. Setelah itu memetakannya kedalam *Reliability Block Diagram* (RBD) mesin *compactor* yang sudah diketahui hubungan diantara sub sistemnya. Setelah diketahui nilai RBD eksisting mesin *compactor*, tahap selanjutnya adalah mengusulkan nilai keandalan dan mensimulasikannya menggunakan simulasi *monte carlo*. MTBF dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad \text{.....(2.6)}$$

Berikut ini adalah cara perhitungan MTTF/MTBF untuk beberapa distribusi:

1. Distribusi Normal
   $$MTBF = \mu \quad \text{.....(2.7)}$$
2. Distribusi Eksponensial
   $$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad \text{.....(2.8)}$$
3. Distribusi Weibull
   $$MTBF = \theta\Gamma\left(\frac{1}{\beta}+1\right) \quad \text{.....(2.9)}$$

Nilai *reliability* dihitung untuk kemudian dipetakan kedalam *Reliability Block Diagram* (RBD). Berikut perhitungan reliability untuk beberapa distribusi:

1. Distribusi Normal
   Fungsi keandalan
   $$R_{(t)} = 1 - \emptyset\left(\frac{t\text{-}\mu}{\sigma}\right) \quad \text{.....(2.10)}$$
   Fungsi laju kerusakan
   $$h_{(t)} = \left(\frac{f_t}{1-f_t}\right) \quad \text{.....(2.11)}$$

2. Distribusi Weibull
   Fungsi keandalan
   $$R_{(t)} = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \quad \text{.....(2.12)}$$

   Fungsi laju kerusakan

ISBN 978-602-73461-8-5

$$h_{(t)} = \frac{\beta}{\theta}\left\{\frac{t}{\theta}\right\}^{\beta-1} \quad \text{.....(2.13)}$$

3. Distribusi Eksponensial
   Fungsi keandalan
   $R_{(t)} = e^{-\lambda t}$ ……...……..……(2.14)
   Fungsi laju kerusakan
   $h_{(t)} = \lambda = \frac{f_{(t)}}{R_{(t)}}$ ……...……..……(2.15)
4. Distribusi Lognormal
   Fungsi keandalan
   $R_{(t)} = 1 - F_{(t)}$……...……..……(2.16)
   Fungsi laju kerusakan
   $h_{(t)} = \left(\frac{f_{(t)}}{1-F_{(t)}}\right)$ ……..……...(2.17)

2.2. Simulasi *Monte Carlo*

Menurut Purnomo (2004), Metode simulasi *Monte Carlo* atau disebut juga dengan metode percobaan statistik sering digunakan untuk melakukan analisis keputusan pada situasi yang melibatkan probabilitas yang melibatkan beberapa parameter untuk dilakukan pertimbangan secara simultan. Metode ini dapat digunakan secara luas karena didasarkan pada proses simulasi dengan pilihan kemungkinan secara random. Simulasi Monte Carlo dapat digunakan untuk mengevaluasi suatu sistem kompleks melalui data laju kerusakan komponen pada sistem tersebut (Lewis and Bohm, 1984).

Membuat simulasi perawatan mesin *Compactor* agar *reliability* mesin berada pada titik 85 %. Karena ketentuan untuk menjadi perusahaan kelas dunia, maka sebuah perusahaan yang bergerak dibidang *manufacture* harus mencapai 85% untuk *reliability* sistem yang ada di perusahaan tersebut. (Nakajima, 1982).

2.3 *Availability*

Availability merupakan suatu rasio yang menggambarkan pemanfaatan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi mesin atau peralatan. Dengan demikian formula yang digunakan untuk mengukur *availability ratio* adalah :

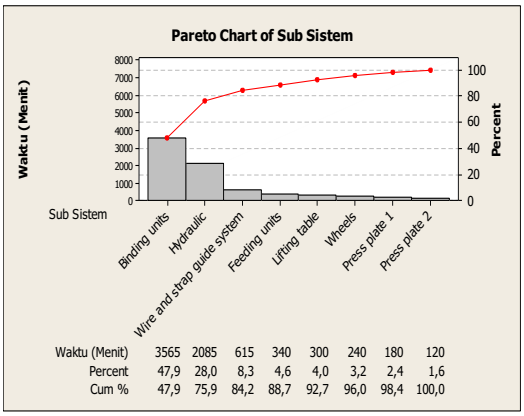
$\frac{Loading\ time - downtime}{Loading\ time}$ x 100% …….(2.18)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Sub sistem kritis pada mesin *compactor*

Berikut adalah gambar pareto chart total *downtime* tertinggi hingga terendah dari sub sistem *compactor*.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 2. Diagram pareto

Berikut adalah tabel perhitungan persentase *downtime* mesin *compactor*.

Tabel 1. Persentase *downtime*

Sub Sistem	*Downtime*	Persentase	Persentase Kumulatif
Binding units	3565	47,88%	47,88%
Hydraulic	2085	28,01%	75,89%
Wire and strap guide system	615	8,26%	84,15%
Feeding units	340	4,57%	88,72%
Wheels	240	3,22%	91,94%
Lifting Tabel	300	4,03%	95,97%
Press plate 1	180	2,42%	98,39%
Press plate 2	120	1,61%	100,00%
Jumlah	7445	100%	

Berdasarkan diagram pareto diatas *binding units, hydraulic dan wire and strap guide system* merupakan sub sistem kritis pada mesin *compactor*, karena memiliki persentase kumulatif yang sudah melewati 80%

3.2. Hasil *Index of Fit*

Data waktu antar kerusakannya (TBF) menjadi input perhitungan *index of fit* untuk mengidentifikasi awal pola distribusi setiap sub sistem untuk data waktu antar kerusakan yang ada. Berikut adalah hasil rekapitulasi index of fit sub sistem mesin *compactor*

Tabel 2. Rekapitulasi *Index of Fit*

Sub Sistem Kritis	Normal	Weibull	Eksponensial	Lognormal
Binding Units	0,883	0,972	0,982	0,995
Hydraulic	0,845	0,954	0,906	0,978
Wire and strap guide System	0,961	0,972	0,915	0,927
Feeding units	0,978	0,988	0,9995	0,997
Lifting Tabel	0,979	0,997	0,998	0,996

Kemudian setelah perhitungan *index of fit* kemudian melakukan uji *goodness of fit*. Pengujian ini dimulai dengan memilih nilai *index of fit* terbesar, dengan anggapan bahwa

ISBN 978-602-73461-8-5

dengan nilai *index of fit* terbesar menunjukan data tersebut mengikuti pola distribusi tersebut. Berikut adalah hasil rekapitulasi *goodness of fit* sub sistem mesin *compactor*

Tabel 3. Rekapitulasi *Goodness of Fit*

No	Sub Sistem	Keputusan Akhir
1	*Binding Units*	Weibull
2	*Hydraulic*	Weibull
3	*Wire and strap guide*	Weibull
4	*Feeding units*	Weibull
5	*Lifting Tabel*	Weibull
6	*Wheels*	Eksponensial
7	*Press plate 1*	Eksponensial
8	*Press plate 2*	Ekpsonensial

Setelah mengetahui keputusan akhir kecocokan data mengikuti suatu distribusi, tahap selanjutnya adalah menghitung parameter untuk mengetahui nilai MTBF dan *reliability* atau keandalannya. Berikut adalah hasil rekapitulasinya:

Tabel 4. Rekapitulasi parameter

No	Sub Sistem	β	α	θ	λ	Sifat Laju Kerusakan
1	*Binding* Units	1,251	-11,89	13426,657	-	Naik (IFR)
2	*Hydraulic*	1,76	-17,78	24454,76	-	Naik (IFR)
3	*Wire and strap guide*	0,8224	-8,766	42572,848	-	Turun (DFR)
4	*Lifting* Tabel	1,218	-13,580	69797,445	-	Naik (IFR)
5	*Feeding units*	1,852	-21,37	103261,324	-	Naik (IFR)
6	*Wheels*	-	-	-	4,15108E-06	Konstan (CFR)
7	*Press plate 1*	-	-	-	5,68526E-06	Konstan (CFR)
8	*Press plate 2*	-	-	-	6,57136E-06	Konstan (CFR)

Berikut adalah hasil rekapitulasi MTBF dan *Reliability* Sub Sistem Mesin *Compactor*.

Tabel 5. MTBF dan *reliability* sub sistem

No	Sub Sistem	Hari	MTBF (Menit)	*Reliability*
1	*Binding* Units	9	12503	40,07%
2	*Hydraulic*	16	21773	44,26%
3	*Wire and strap guide*	33	47319	33,59%
4	*Lifting* Tabel	46	65398	39,71%
5	*Feeding units*	64	91715	44,81%
6	*Wheels*	167	240901	36,79%
7	*Press plate 1*	122	175893	36,79%
8	*Press plate 2*	106	152175	36,79%

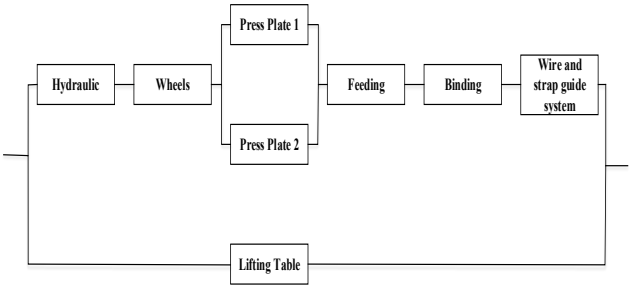
ISBN 978-602-73461-8-5

Setelah mendapatkan nilai *reliability* sub system mesin *compactor*, tahap selanjutnya adalah memetakannya ke RBD. Setelah mendapatkan *reliability* nyata mesin *compactor*, tahap selanjutnya adalah mengusulkan *reliability* untuk menentukan *interval* waktu perawatan *preventive maintenance*. Usulan yang digunakan adalah 85%. Berikut adalah hasil perhitungan MTBF dan *reliability* pada sub system agar *reliability* mesin *compactor* terjaga 85%.

Tabel 6. *Reliability* usulan sub sistem

No	Sub Sistem	Waktu Kegagalan		Reliability
		Hari	MTBF (Menit)	
1	*Binding* Units	8	11520	43,79%
2	*Hydraulic*	14	20160	49,07%
3	*Wire and strap guide*	20	28800	48,43%
4	*Lifting* Tabel	11	15840	84,88%
5	*Feeding units*	55	79200	54,23%
6	*Press plate 2*	82	118080	46,03%
7	*Press plate 1*	93	133920	46,70%
8	*Wheels*	128	184320	46,53%

Setelah menghitung nilai keandalan usulan melalui *trial and error*, tahap selanjutnya memetakan nilai *reliability* usulan kedalam RBD mesin compactor. Berikut adalah RBD mesin *compactor*.



Gambar 3. *Reliability block diagram* mesin *compactor*

Setelah menghitung nilai *reliability* mesin compactor menggunakan RBD (Gambar 3) pada kondisi nyata didapat bahwa nilai *reliability* sebesar 40,06% sedangkan *reliability* usulan dengan menggunakan usulan waktu *preventive maintenance* didapatkan nilai *reliability* mesin *compactor* meningkat menjadi sebesar 85,1%. Dengan usulan waktu *preventive maintenance* mesin *compactor* tersebut diharapkan perusahaan bisa bersaing pada kelas dunia.

Untuk memastikan bahwa jadwal *preventive maintenance* yang diusulkan tidak mengurangi nilai *availability* dari sistem nyata maka diperlukan simulasi kerusakan sub sistem. dengan kejadian kerusakan yang dibangkitkan dengan bilangan random (simulasi monte carlo) sebagai keandalan sub sistem kemudian ditransformasi kedalam satuan waktu menggunakan fungsi invers dari persamaan keandalan sesuai dengan distribusi sub sistem masing-masing. Kemudian simulasi dilakukan selama 1 tahun 2019. Berikut adalah hasil *reliability* sub sistem menggunakan bilangan random.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 7. Keandalan sub sistem menggunakan bilangan random

Sub Sistem	Waktu Kegagalan		Keandalan
Binding Units	12223	9	41,10%
Hydraulic	21024	15	46,17%
Wire and strap guide	43800	31	35,93%
Lifting Tabel	65700	46	39,51%
Feeding units	87600	61	47,83%
Press plate 2	175200	122	31,62%
Press plate 1	175200	122	36,93%
Wheels	175200	122	48,32%

Model simulasi eksisting menggunakan perbaikan korektif sebagaimana keadaan nyata, validasi model sistem eksisting menggunakan perbandingan *reliability* nyata. Didapatkan bahwa *reliability* nyata sebesar 40,06% dan *reliability* simulasi eksisting menggunakan bilangan random sebesar 40,05% yang berarti keandalan sistem model eksisting dengan nyata tidak jauh berbeda. Sehingga dapat dikatakan bahwa model eksisting dapat mewakili kejadian nyata. Berikut adalah hasil simulasi total *Downtime* sebelum dan sesudah penerapan *preventive maintenance*.

Tabel 8. Perbandingan *downtime*

No	Sub Sistem	Waktu *Downtime* (Menit)		Selisih
		Sebelum *Preventive*	Setelah *Preventive*	
1	*Binding Units*	3010	2810	200
2	*Hydraulic*	2125	1295	830
3	*Wire and strap guide*	600	565	35
4	*Lifting* Tabel	320	278	42
5	*Feeding units*	360	200	160
6	*Press plate 2*	180	90	90
7	*Press plate 1*	180	150	30
8	*Wheels*	240	175	65
Total		7015	5563	1452

Setelah diketahui total waktu *maintenance* masing-masing sub sistem dalam 1 tahun simulasi, maka selanjutnya mengetahui perbandingan *Downtime* sebelum dan sesudah penerapan *preventive*, dan kemudian mengetahui *availability* pada masing-masing simulasi tersebut. Nilai *availability* meningkat dari 0,9866 menjadi 0,9894.

4. Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sub sistem kritis yang menjadi fokus pada mesin compactor adalah *binding units*, *hydraulic*, *wire and strap guide system*. Untuk nilai *reliability* sub sistem kritis pada mesin *compactor* adalah : *binding units* sebesar 40,07%, *hydraulic* sebesar 44,26%, *wire and strap guide system* sebesar 33,59%. Sedangkan sub sistem lainnya yang ada di mesin *compactor* adalah *lifting tabel* sebesar 39,71%, *feeding units* sebesar 44,81%, *wheels* sebesar 36,79%, *press plate 1* sebesar

ISBN 978-602-73461-8-5

36,79% dan *press plate 2* sebesar 36,79%. Usulan preventive maintenance tiap sub sistem adalah : binding units setiap 8 hari, *hydraulic* setiap 14 hari, *wire and strap guide system* selama 20 hari, *lifting tabel* selama 11 hari, *feeding units* selama 55 hari, *wheels* selama 128 hari, *press plate 1* selama 93 hari, *press plate 2* selama 82 hari. Total perbandingan *Downtime* sebelum melakukan *preventive* dan setelah penerapan *preventive* sebesar 1452 menit.

Daftar Pustaka

Abbas, Hammada dan Asmeati. 2012. Analisis Total Preventive Maintenance dalam Meminimasi *Downtime Tools* Kritis dan Meningkatkan *Reliability* pada Mesin *Finish Mill* (Studi Kasus: PT. SBM). Makssar: Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Ansori, N dkk. 2013. *Sistem Perawatan Terpadu (Integrated Maintenance System)*. Graha Ilmu.

Corder, Anthony. 1996. *Teknik Manajemen Pemeliharaan (Terjemahan Kusnul Hadi)*. Jakarta: Erlangga.

Ebeling, C. 1997. *Reliability and Maintainability Engineering.* Singapore: McGraw-Hill Companies, Inc.

Hasriyono, Miko. 2009. Evaluasi Efektivitas Mesin Dengan Penerapan Total *Productive Maintenance* (TPM) Di PT. Hadi Baru. Teknik Industri Universitas Sumatera Utara.

Jiwantoro, A.Y. 2014. *Usulan Strategi Perawatan Dengan Mempertimbangkan Reliability Block Diagram Pada Mesin Crane Ship Unloader Di PT.KBS.* Teknik Industri FT. Untirta.

Kartika. I. 2016. Usulan Waktu Preventive Maintenance untuk Meningkatakan Keandalan Mesin Machining Center dengan *Reliability Block Diagram* di PT. Surya Tato Indonesia. Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Karunia, Rizky. 2017. Usulan Penjadwalan *Preventive Maintenance* Pada Komponen Kritis Mesin *Stone Crusher* Menggunakan Metode *Model Age Replacement*. Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Larasati, Sarah. 2017. Usulan Waktu *Preventive Maintenance* Untuk Menurunkan *Downtime* Mesin *Crane 0746* Dengan *Reliability Block Diagram* Di PT. XYZ. Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Lewis, E.E., Bohm, Franz., 1984. *Monte Carlo simulation of Markov unreliability models*. Nucl. Eng. Des. 77, 49–62.

Mardiansyah. 2013. Perancangan dan Perbaikan Sistem Kerja Dalam Upaya Mengendalikan Kecacatan pada Proses Pembuatan Nata De Coco. *Jurnal Sekolah Tinggi Teknologi Garut*. Vol 12 No 1.

Maulana, Erik. 2014. Usulan Perencanaan Perawatan Mesin *Coldsaw* Dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* Dan *Reliability Block Diagram.* Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Mushofik. 2016. Usulan Perencanan Perawatan Mesin Roughing Stand dengan Pendekatan Reliability Centered Maintenance di PT. Krakatau Wajatama. Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Munaji, A. 2014. Usulan Penjadwalan Perawatan Mesin dengan Mempertimbangkan *Reliability* Sistem pada Unit Stand CPL di PT. KS. Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Nazarudin, Muhammad. 2014. Analisa Penjadwalan Perawatan pada Mesin Three Roll Bending di PT. XYZ dengan Reliability Block Diagram. Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Purnomo, H. 2004. *Pengantar Teknik Industri*. Graha Ilmu. Yogyakarta.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tamara, Firly. 2014. Analisa Prediksi Waktu Kegagalan Transformator Menggunakan Distribusi Weibull dan Distribusi Eksponensial. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

ISBN 978-602-73461-8-5

Analisis Penyebab Kegagalan Pengadaan Peralatan PDKB Sentuh Langsung (SL) dengan Pendekatan *Root Cause Analysis* (RCA) (Studi Kasus pada PT. PLN Distribusi Jawa Tengah dan DI. Yogyakarta)

Adinda Hasnarani, Ratna Purwaningsih
Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
Telp. (+6224) 7460052
Email: adindahasna22@gmail.com

Intisari

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada bidang pelaksana pengadaan PT PLN (Persero) Jateng dan DIY, terdapat data pelelangan yang gagal pada tahun 2016 dan 2018 yaitu Pengadaan Peralatan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) Sentuh Langsung. Pelelangan yang gagal tersebut perlu diketahui apa akar permasalahannya karena pengadaan alat tersebut sudah dua kali mengalami kegagalan dalam pelaksanaan lelang. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui akar permasalahan terjadinya kegagalan dalam pengadaan peralatan PDKB sentuh langsung dan memberikan usulan untuk menangani permasalahan yang mengakibatkan terjadinya kegagalan lelang peralatan PDKB Sentuh Langsung di PT PLN (Persero) Distribusi Jateng dan DIY. Metode yang digunakan adalah Root Cause Analysis (RCA) dengan tools yang digunakan adalah fishbone diagram. Root Cause Analysis (RCA) digunakan untuk mengidentifikasi suatu permasalahan hingga ke akar masalah. Terdapat 2 faktor penyebab kegagalan pengadaan peralatan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) sentuh langsung. Kegagalan pada Pengadaan peralatan PDKB Sentuh Langsung disebabkan oleh administrasi teknis yang disyaratkan kurang lengkap dan harga yang ditawarkan lebih tinggi dari Harga Perkiraan Sendiri (HPS). Dilakukan analisa penyebab kegagalan terlebih dahulu dengan menggunakan fishbone diagram. Faktor- faktor penyebab kegagalan pengadaan diidentifikasi menggunakan Root Cause Analysis (RCA). Ditemukan akar penyebab masalah yang menyebabkan gagalnya pengadaan PDKB sentuh langsung, yaitu kurang telitinya dalam pengecekan dokumen dan HPS yang terlalu rendah. Rekomendasi diberikan dengan metode 5W+1H.

Kata kunci: Root Cause Analysis (RCA), Fishbone Diagram, metode 5W+1H

1. Pendahuluan

Saat ini kemajuan teknologi dan kinerja sangat meningkat. Perusahaan harus memiliki strategi bisnis agar dapat bertahan dalam persaingan dunia industri. Salah satu kegiatan yang mempunyai peran penting dalam mendukung kelancaran proses bisnis adalah pengadaan barang/jasa. Pengadaan barang/jasa merupakan suatu kegiatan untuk melakukan pemenuhan atau penyeduaan kebutuhan dan pasokan barang/jasa di bawah kontrak atau pembelian langsung untuk memenuhi kebutuhan bisnis. Salah satu perusahaan yang melakukan proses pengadaan yaitu PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah (Jateng) dan Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY).

ISBN 978-602-73461-8-5

Pengadaan barang/jasa di PLN wajib menerapkan prinsip- prinsip seperti efisien, efektif, kompetitif, transparan, adil dan wajar, serta akuntabel. Pengadaan barang/jasa harus terbuka bagi penyedia barang/jasa yang memenuhi persyaratan dan dilakukan melalui persaingan yang sehat diantara penyedia barang/jasa yang setara dan memenuhi syarat/kriteria tertentu berdasarkan ketentuan dan prosedur yang jelas dan transparan. Setelah dilakukan pengumuman terhadap barang/jasa yang dilelang, penyedia barang/jasa melakukan pendaftaran dan pengambilan dokumen pelelangan atau Rencana Kebutuhan dan Syarat- syarat (RKS). Pengadaan barang/jasa akan memberikan penjelasan kepada penyedia, jika penyedia akan melanjutkan ke tahap berikut, penyedia harus memasukkan dokumen penawaran. Penawaran harga dapat melihat patokan pada Harga Perkiraan Sendiri (HPS). Pada tahap ini sering kali terjadi kegagalan yang disebabkan harga penawaran lebih tinggi dari HPS. Kegagalan pengadaan telah iingatkan dalam Kepdir Nomor: 0620.K/DIR/2013 yang menyebutkan agar perusahaan meminimalisir terjadinya kegagalan pengadaan.

Berdasarkan data laporan kegagalan pengadaan bulan Januari 2018 terdapat kegagalan pada Pengadaan Peralatan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) Sentuh Langsung, dimana dokumen pelelangan dikeluarkan pada tanggal 02 November 2017. Kegagalan Pengadaan Peralatan PDKB Sentuh Langsung juga terjadi pada tahun 2016. Dengan terjadinya kegagalan dalam proses lelang pengadaan peralatan PDKB Sentuh Langsung di PT PLN (Persero) Distribusi Jateng dan DIY berturut- turut, maka perlu dilakukan analisis terhadap faktor apa saja yang mempengaruhi kegagalan tersebut.

Kegagalan pada Pengadaan PDKB Sentuh Langsung disebabkan oleh administrasi teknis yang disyaratkan kurang lengkap dan harga yang ditawarkan lebih tinggi dari HPS. Ada beberapa cara dalam menganalisa kegagalan dalam proses pengadaan, salah satunya adalah *Root Cause Analysis* (RCA). Menurut Corcoran dan Casebolt (2004), RCA merupakan pendekatan terstruktur untuk mengidentifikasi faktor- faktor berpengaruh pada satu atau lebih kejadian- kejadian agar dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja. RCA digunakan agar dapat mengetahui faktor penyebab dari masalah kegagalan pengadaan PDKB Sentuh Langsung secara lebih detail. Analisa kegagalan dianalisis menggunakan *fishbone diagram*, serta metode untuk usulan perbaikan digunakan metode 5W+1H. Sistem dalam penelitian ini adalah pelaksanaan pengadaan dan kegagalan yang dimaksud adalah kegagalan lelang pada pengadaan peralatan PDKB Sentuh Langsung.

2. Metode

2.1. *Root Cause Analysis*

Root Cause Analysis (RCA) adalah pendekatan terstruktur untuk mengidentifikasi faktor- faktor berpengaruh pada satu atau lebih kejadian- kejadian yang lalu agar dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja (Corcoran & Casebolt, 2004). Terdapat berbagai metode evaluasi terstruktur untuk mengidentifikasi akar penyebab (*root cause*) suatu kejadian yang tidak diharapkan. Dijelaskan lima metode yang populer untuk mengidentifikasi akar penyebab suatu kejadian yang tidak diharapkan dari yang sederhana sampai kompleks yaitu (Jing, 2008):

a. *Is/Is not comparative analysis*
   Metode komparatif yang digunakan untuk permasalahan sederhana, dapat memberikan gambaran detail apa yang terjadi dan telah sering digunakan untuk menginvestigasi akar masalah.
b. *5 Whys methods*
   Alat analisis yang sederhana untuk menginvestigasi suatu masalah secara mendalam.
c. Diagram Tulang Ikan (*Fishbone Diagram*)

ISBN 978-602-73461-8-5

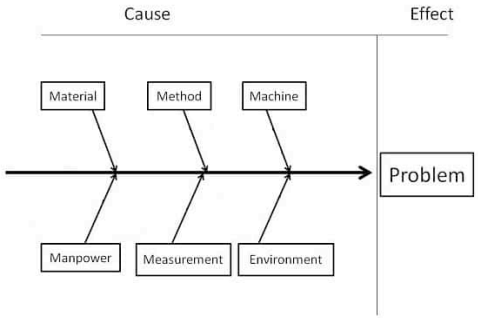
Alat analisis yang populer dan sangat baik untuk menginvestigasi penyebab dalam jumlah besar.

d. *Cause and effect matrix*
Matirks sebab-akibat yang dituliskan dalam bentuk tabel dan memberikan bobot pada setiap faktor penyebab masalah.

e. *Root Cause Tree*
Alat analisis untuk permasalahan yang kompleks. Manfaat utama dari alat analisis tersebut yaitu mengidentifikasi hubungan diantara penyebab masalah.

a. *Fishbone diagram*

Fishbone diagram adalah diagram yang menunjukkan hubungan karakteristik mutu dan faktor- faktornya. Diagram ini digunakan untuk mencari sebab dari suatu masalah atau penyimpangan. Diagram sebab-akibat ini dikembangkan oleh Dr. Kaoru Ishikawa pada tahun 1943, sehingga biasa disebut dengan diagram Ishikawa (Gasperz, 2003).



Gambar 1. Contoh f*ishbone diagram* (Sumber: pmstudycircle.com)

Penelitian di PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan DI. Yogyakarta dilakukan dengan cara wawancara dan studi literatur. Wawancara dilakukan kepada pejabat dan staff subbidang pelaksana pengadaan PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan DI. Yogyakarta.

ISBN 978-602-73461-8-5

Gambar 2. Alur pengumpulan dan pengolahan data

Berikut ini adalah langkah- langkah dalam melakukan *Root Cause Analysis* (RCA) yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan penjelasan Rooney dan Heuvel (2004):

a. Pengumpulan data
   Tanpa lengkap informasi dan pemahaman tentang kejadian tersebut, faktor-faktor penyebab dan akar penyebab yang terkait dengan kejadian tersebut tidak dapat diidentifikasi. Sebagian besar waktu yang dihabiskan dalam menganalisis suatu peristiwa akan dihabiskan dalam pengumpulan data.
b. Pembuatan diagram faktor penyebab
   Dimulai dengan *fishbone chart* yang dimodifikasi setiap kali fakta yang lebih relevan terungkap. Faktor penyebab adalah semua hal yang berkontribusi (kesalahan manusia dan kegagalan komponen) pada kejadian, yang jika dihilangkan, akan mampu mencegah terjadinya atau mengurangi keparahan. Dalam banyak analisis tradisional, semua perhatian akan dicurahkan pada faktor penyebab yang paling terlihat.
c. Identifikasi akar penyebab
   Langkah ini melibatkan penggunaan diagram keputusan untuk mengidentifikasi alasan yang mendasari atau alasan dari setiap faktor penyebab. Struktur diagram menunjukkan proses penalaran dari para peneliti dengan membantu mereka menjawab pertanyaan tentang mengapa faktor penyebab tertentu ada atau terjadi.

ISBN 978-602-73461-8-5

Identifikasi akar penyebab membantu penyidik menentukan alasan mengapa peristiwa itu terjadi sehingga masalah di sekitar kejadian dapat diatasi.

d. Pencarian Rekomendasi dan implementasi
Langkah berikutnya adalah pencarian rekomendasi. Setelah identifikasi akar penyebab untuk faktor penyebab tertentu, rekomendasi yang dapat dicapai untuk mencegah kekambuhan.

2.2. Penelitian terdahulu

Penelitian terdahulu ini menjadi salah satu acuan penulis dalam melakukan penelitian sehingga penulis dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan. Dari penelitian terdahulu, penulis tidak menemukan penelitian dengan judul yang sama seperti judul penelitian penulis. Namun penulis mengangkat beberapa penelitian sebagai referensi dalam memperkaya bahan kajian pada penelitian penulis. Berikut merupakan penelitian terdahulu berupa beberapa jurnal terkait dengan penelitian yang dilakukan penulis.

Penelitian yang dilakukan oleh Karyasa, Salain, dan Nadiasa (2014) berjudul "Analisis Faktor- Faktor yang Mempengaruhi Gagal Lelang Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah secara Elektronik (*E-Procurement*) di Kabupaten Badung". Hasil dari penelitian tersebut adalah faktor apa saja yang mempengaruhi gagal lelang dan yang paling dominan menjadi penyebab terjadinya gagal lelang. Hal yang membedakan dengan penelitian ini adalah metode untuk mengetahui faktor gagal lelang.

Penelitian yang dilakukan oleh Djuniati, Komara, Wahyudyah (2015) berjudul "Analisis Variabel Kegagalan dalam Proses Pengadaan Pemilihan Penyedia Jasa Pelaksana Konsstruksi secara Elektronik (*E-Procurement*) di Kota Pekanbaru". Hasil dari penelitian tersebut adalah variabel kegagalan apa saja yang mempengaruhi proses lelang ditinjau dari beberapa tahapan evaluasi penawaran. Hal yang membedakan dengan penelitian ini adalah metode untuk mengetahui variabel kegagalan.

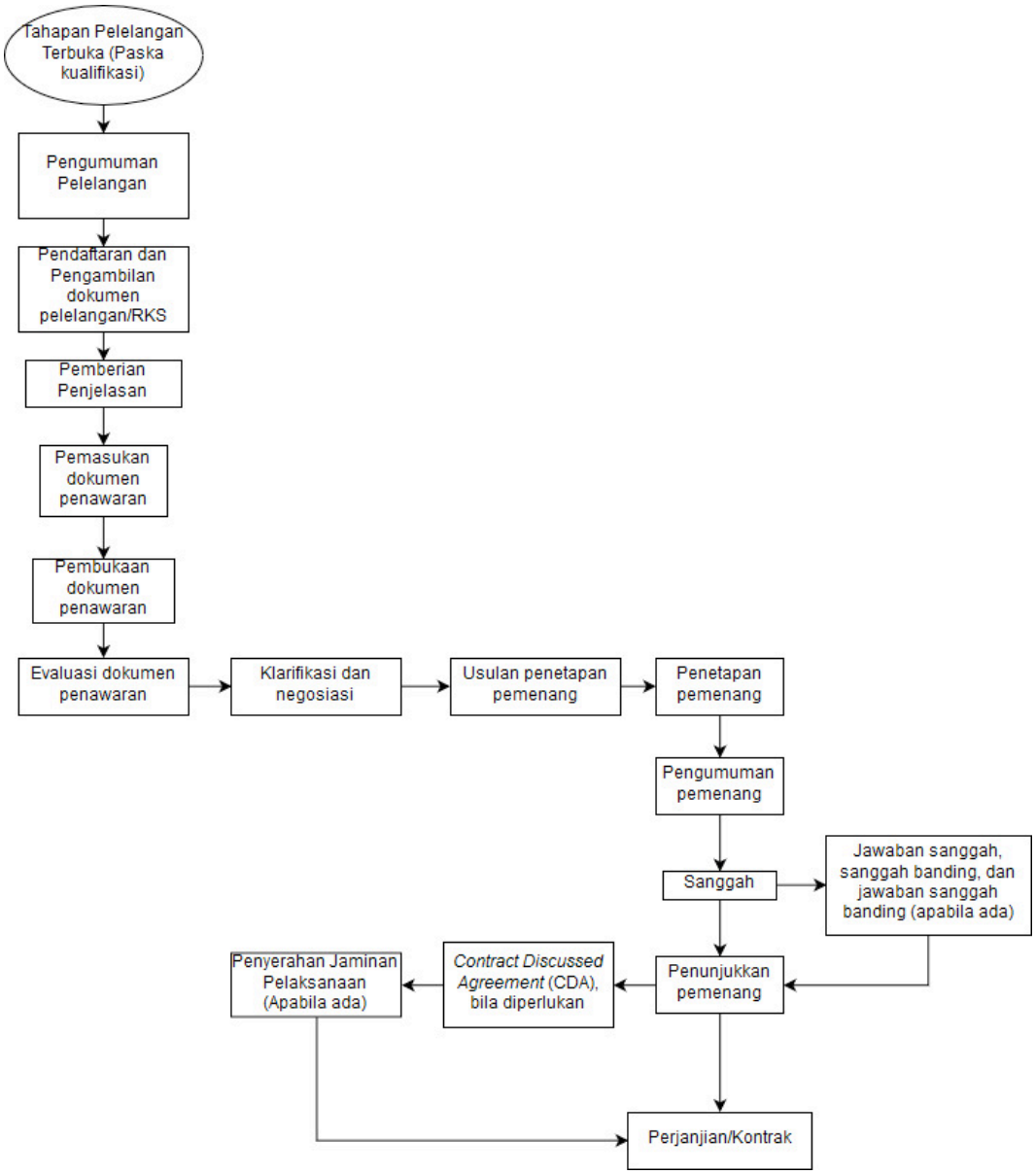
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengumpulan data

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui akar permasalahan yang terjadi dalam pengadaan peralatan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) Sentuh Langsung pada PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan DI. Yogyakarta dengan menggunakan pendekatan *Root Cause Analysis*.

Gambar 3. Mobil PDKB Sentuh Langsung

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 4. Tahapan pengadaan

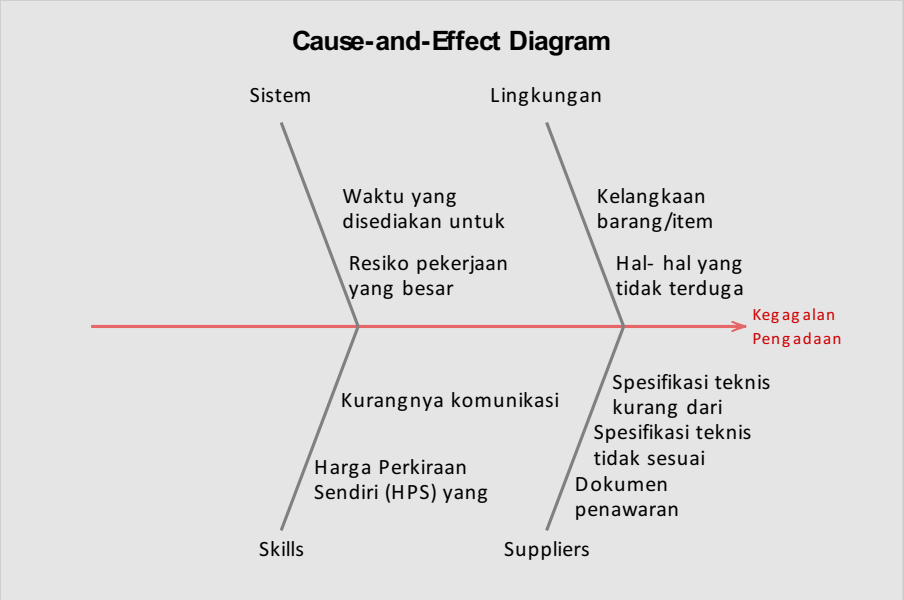
Tabel 1. Data kegagalan pengadaan

Jenis Pengadaan	Tahun	GAGAL
Pengadaan Peralatan PDKB Sentuh Langsung	2016	Administrasi Teknis Kurang lengkap
	2017	Negosiasi

3.2. Pengolahan data

Sebelum dilakukan identifikasi akar penyebab, maka terlebih dahulu dilakukan analisa penyebab kegagalan pengadaan dengan menggunakan diagram sebab-akibat:

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 5. *Fishbone diagram*

Tabel 2. Identifikasi akar penyebab

Kegagalan Pengadaan Peralatan PDKB Sentuh Langsung	
Sebab a	Sebab b
Administrasi teknis yang kurang lengkap	Harga yang ditawarkan lebih tinggi dari Harga Perkiraan Sendiri (HPS)
Sebab a1	Sebab b1
Spesifikasi teknis tidak sesuai yang disyaratkan	Calon penyedia barang/jasa yang lulus hingga tahap penawaran hanya 1 perusahaan
Sebab a1.2	Sebab b2
Spesifikasi teknis kurang dari yang disyaratkan	Penyedia tidak bersedia melakukan negosiasi
Sebab a2	Sebab b3
Waktu yang disediakan untuk mempersiapkan dokumen penawaran kurang	Peralatan PDKB di Indonesia jumlah produksinya terbatas, kebanyakan peralatan tersebut di impor dari luar negeri

Penyebab kegagalan pengadaan pada Peralatan PDKB Sentuh Langsung ada 2, yaitu administrasi teknis yang kurang lengkap dan harga yang ditawarkan oleh penyedia barang lebih tinggi dari Harga Perkiraan Sendiri (HPS). Penyebab pertama, administrasi teknis yang kurang lengkap disebabkan oleh spesifikasi teknis yang tidak sesuai serta kurang dari yang disyaratkan, waktu yang kurang untuk mempersiapkan dokumen penawaran tersebut, dan kurangnya penjelasan terkait metode pelaksanaan pekerjaan. Administrasi

ISBN 978-602-73461-8-5

teknis meliputi surat pengantar dokumen penawaran, akta perusahaan, brosur dan gambar yang ditawarkan, dan dokumen-dokumen lainnya. Jika penyedia tidak memenuhi administrasi yang disyaratkan tersebut, penyedia dinilai tidak lulus pada evaluasi teknis. Dalam pengidentifikasian akar penyebab, yang menyebabkan administrasi teknis kurang lengkap adalah kurang teliti dalam pengecekan dokumen- dokumen administrasi teknis penawaran.

Penyebab kedua, harga yang ditawarkan lebih tinggi dari Harga Perkiraan Sendiri (HPS) disebabkan oleh peralatan PDKB Sentuh Langsung di Indonesia calon penyedia barang/jasa yang lulus hingga tahap penawaran hanya berjumlah 1 perusahaan, harga yang ditawarkan penyedia juga tidak bisa di negosiasi, peralatan PDKB di Indonesia jumlah produksinya terbatas, kebanyakan peralatan tersebut di impor dari luar negeri dan kesalahan dalam memperhitungkan HPS. Peralatan PDKB Sentuh Langsung di Indonesia jumlah produksinya terbatas, maka peralatan tersebut harus diimpor dari luar negeri, dimana jika barang impor biaya- biaya yang dikeluarkan harus lebih seperti biaya gudang, biaya bea cukai, dan biaya- biaya tak terduga lainnya. Setelah dilakukan identifikasi akar penyebab mengapa harga yang ditawarkan lebih tinggi dari HPS karena Harga Perkiraan Sendiri (HPS) terlalu rendah.

Usulan perbaikan yang diberikan menggunakan metode 5W+1H. Usulan perbaikan berdasarkan penyebab yang merupakan akar permasalahan yang didapat dari RCA. Berikut usulan perbaikan penyebab kegagalan pengadaan Peralatan PDKB Sentuh Langsung PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan DIY.

Tabel 3. Usulan perbaikan 5W+1H

No.	Faktor Penyebab	What	Why	Where	When	Who	How
1.	Pengecekan dokumen yang kurang teliti	Penyedia harus memasukkan dokumen administrasi teknis dengan lengkap, sebelum diupload pada *e-procurement* lebih baik diperiksa kembali dokumen yang diperlukan.	Agar tidak ada dokumen administrasi yang kurang.	Perusahaan Penyedia barang/jasa.	Sebelum dokumen diupload pada *e-procurement*	Penyedia barang/jasa yang mengikuti proses pengadaan.	Penyedia barang/jasa lebih baik memeriksa dokumen-dokumen yang diperlukan untuk administrasi teknis pada sistem.
2.	Harga Perkiraan Sendiri (HPS) terlalu rendah.	Pelaksana pengadaan mengusulkan kembali HPS kepada pihak pengguna barang/jasa agar ditetapkan HPS baru.	Agar harga yang ditawarkan oleh penyedia tidak terlalu tinggi dari HPS.	PT PLN (Persero) Distribusi Jateng & DIY	Selama kegiatan pengadaan berlangsung.	Pelaksana pengadaan dan pihak pengguna barang/jasa.	Perencana pengadaan dan pelaksana membuat serta menetapkan HPS baru sesuai dengan patokan harga sekarang.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah akar penyebab masalah yang menyebabkan gagalnya pengadaan Peralatan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) sentuh langsung, yaitu administrasi teknis kurang lengkap dan harga yang ditawarkan lebih

ISBN 978-602-73461-8-5

tinggi dari Harga Perkiraan Sendiri (HPS) adalah kurang telitinya dalam pengecekan dokumen dan HPS yang terlalu rendah. Selain itu, penyebab- penyebab lainnya dalam masalah administrasi teknis yag kurang lengkap yaitu disebabkan oleh spesifikasi teknis tidak sesuai dan kurang dari yang disyaratkan, waktu yang kurang untuk mempersiapkan dokumen, dan penjelasan yang kurang terkait metode pelaksanaan pekerjaan. Sedangkan untuk harga penawaran yang ditawarkan lebih tinggi dari HPS, terdapat penyebab-penyebab antara lain calon penyedia barang/jasa yang lolos hingga tahap penawaran hanya 1 perusahaan, penyedia barang/jasa tersebut tidak bersedia melakukan negosiasi, peralatan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) sentuh langsung di Indonesia jumlah produksinya terbatas dan peralatan tersebut kebanyakan diimpor dimana menyebabkan biaya- biaya tambahan seperti biaya bea cukai, biaya gudang, dan sebagainya, serta adanya kesalahan dalam perhitungan HPS.

Daftar Pustaka

Corcoran J., Nichols-Casebolt, 2004, *Risk and Resilience Ecological Framework for Assesment and Goal Formulation*, *Child and Adolescent Social Work Journal*, p. 211-235.

Djuniati, S., Komara, Rian T., Wahyudyah, Ni, 2015, *Analisa Variabel Kegagalan dalam Proses Pengadaan Pemilihan Penyedia Jasa Pelaksana Konstruksi Secara Elektronik (E-Procurement) di Kota Pekanbaru*, *Jurnal Annual Civil Engineering Seminar 2015*, Hal. 37-45.

Gaspersz, Vincent, 2003, *Metode Analisis Untuk Peningkatan Kualitas*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Jing GG, 2008, *Digging for the Root Cause*. ASQ Six Sigma Forum Magazine 7 (3) : 19 – 24.

Karyasa, INR, Salain, IM. Alit, dan Nadiasa, Mayun, 2014, *Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Gagal Lelang Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah Secara Elektronik (E-Procurement) Di Kabupaten Badung*, *Jurnal Spektran*, Vol. 2 No. 1 Hal. 19-27.

Keputusan Direksi PT PLN No. 0620.K/DIR/2013 Tentang Pedoman Umum Pengadaan Barang/Jasa

Peraturan Presiden Republik Indonesia no. 54 tahun 2010 Tentang Pengadaan Barang / Jasa Pemerintah. Jakarta: CV. Tamita Utama.

Widyastuti, Luh Nyoman, 2014, *Analisis Gangguan Sistem Transmisi Listrik Menggunakan Metode Root Cause Analysis (RCA)*, *Undip E-Journal,* Vol. 3 No. 3.

ISBN 978-602-73461-8-5

Pengurangan *Waste* pada Proses Produksi Kacang Shanghai di PT. ABC Tulungagung dengan Metode *Lean Manufacturing*

Avinda Shaina Marastya, Akhmad Nidhomuz Zaman, Muhamad As'adi
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta
Jl. RS Fatmawati No.1 Pondok Labu, Jakarta Selatan, 12450
Telp. 021-7656971
Email: avinshaina@hotmail.com

Intisari

PT. ABC adalah salah satu perusahaan yang bergerak di bidang produksi makanan yaitu kacang shanghai. Banyaknya permintaan pelanggan dapat memberikan keuntungan pada perusahaan. Namun, permintaan pelanggan yang tidak menentu dapat menyebabkan pemborosan yaitu pada penyimpanan, dan pemborosan (waste) lainnya yaitu menunggu, gerakan yang tidak perlu, transportasi berlebih, kecacatan, produksi berlebih dan proses yang tidak sesuai. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan dalam penelitian ini, hal ini disebabkan beberapa aktivitas yang tidak memiliki nilai tambah atau disebut dengan pemborosan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, mengurangi pemborosan dan rekomendasi perbaikan yang menciptakan nilai tambah. Dengan menggunakan metode lean manufacturing penelitian ini dimulai dari menggambarkan peta keadaan (BPM) dan pembobotan pemborosan pada saat ini, pembobotan dianalisa dengan menggunakan VALSAT untuk mengidentifikasi pemborosan, untuk menganalisa pemborosan dan rekomendasi perbaikan dengan menggunakan dengan bagan tulang ikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 3 pemborosan terbesar yang sering terjadi adalah unnecessary inventory dengan rata-rata skor 2,2, waiting dengan skor rata-rata 1,8 dan motion dengan skor rata-rata 1,6. Usulan perbaikan yang dilakukan dapat menghemat waktu value added dari 2.552 detik menjadi 2.436 detik dan waktu necessary but non value added dan non value added dari 117.143 detik menjadi 95.853 detik.
Kata kunci: lean manufacturing, produksi makanan, waste

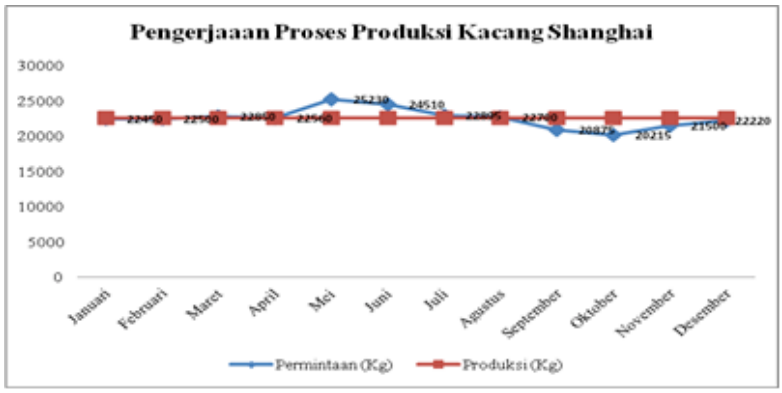
1. Pendahuluan

Industri makanan dan minuman adalah salah satu industri yang berkembang sangat pesat di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Berbagai jenis makanan dan minuman dengan tampilan yang menarik terus diproduksi demi meningkatkan nilai estetika dan daya tarik konsumen. Setiap proses produksi yang berlangsung harus dikontrol agar produk akhir yang dihasilkan aman dan layak untuk dikonsumsi oleh konsumen (Sari, 2015). Salah satu contoh industri makanan yaitu industri kacang tanah yang dapat diolah menjadi berbagai produk seperti kacang atom. Kacang atom merupakan kacang tanah yang dibalut dengan terigu tapioka beserta adonan bumbu lainnya menggunakan alat mesin molen yang kemudian digoreng sampai kering dan garing (Rahmawati, 2005).

Salah satu perusahaan yang memproduksi kacang shanghai yaitu PT. ABC yang terletak di Tulungagung, Jawa Timur. Permasalahan yang dihadapi yaitu tidak adanya peramalan permintaan pesanan untuk menjadwalkan dalam jalur produksi, dan tidak memiliki data peramalan maupun data produksi untuk menjadwalkan jalur produksi, bekerja hanya dengan skema kerja dan menjadikan waktu berdasar pengalaman masa lalu sebagai asset terbesar bagi perusahaan. Perusahaan mengalami penumpukan

ISBN 978-602-73461-8-5

pada penyimpanan bahan baku apabila permintaan konsumen mengalami penurunan pada musim tertentu. Perusahaan pun juga kesulitan untuk perencanaan produk apabila mengalami kenaikan permintaan seperti pada musim hari raya, hal ini terjadi karena permintaan pelanggan yang tidak menentu. Sehingga hal ini termasuk dalam pemborosan *unnecessary inventory*. Selain itu, terdapat pemborosan *waiting* dikarenakan waktu tunggu yang lama. *Waste motion* (gerakan yang tidak perlu) atau tidak melakukan pekerjaannya dengan benar, *Waste* pada *transportation* jarak yang terlalu jauh mengakibatkan lamanya waktu produksi, *waste defect* (kecacatan) produk yang rusak seperti kemasan kacang shanghai yang tidak rapat, *waste overproduction* produksi yang berlebih dan *waste overprocessing* (proses yang berlebih/tidak tepat) seperti pada penuangan bumbu yang takarannya tidak tepat.



Gambar 1. Grafik proses produksi terhadap permintaan

Pada Gambar 1 merupakan perbandingan pengerjaan proses produksi dengan permintaan produk, pada pertengahan dan akhir bulan mengalami kenaikan dan ada juga penurunan permintaan, maka bisa menjadi salah satu *waste inventory*. Pada penelitian ini bertujuan untuk: mengidentifikasi dan mengurangi *waste* pada proses produksi kacang shanghai pada bungkus kecil dan memberikan usulan perbaikan di PT ABC. Teknik-teknik *Lean Manufacturing* menolong perusahaan untuk menjadi kompetitif, terkhusus dalam hal pengurangan *waste* (pemborosan) dalam operasi mereka dengan memaksimalkan aktivitas yang bernilai tambah (*value added*) (Forrester 1995 dalam Kurniawan, 2012) serta Perusahaan yang memiliki budaya lean akan mereduksi aktivitas-aktivitas yang tidak bernilai dan pelanggan pun tidak akan merasa rugi (Damayanti, 2017).

2. Metode

Pada penelitian ini, tempat pengambilan data di lakukan di PT ABC. Berdasarkan pada latar belakang penelitian yang ada. Dalam penelitian ini metode penelitian dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Tahapan identifikasi *waste* dengan memberikan kuisioner kepada beberapa responden yang berhubungan dengan proses produksi. Adapun responden yang dimaksud adalah kepala produksi (1 orang), kabag. pemasaran (1 orang), mandor gudang (1 orang), pengawas produksi I (QC) (1 orang), dan pengawas produksi II (Mesin) (1 orang).
2. Melakukan pembobotan *waste* dengan tujuan untuk mengidentifikasi *waste* yang terjadi pada sistem dengan mengetahui tingkat keseringan dari munculnya *waste* yang terjadi.
3. Melakukan analisa faktor penyebab untuk mengetahui faktor penyebab *waste* yang terjadi pada sistem dengan menggunakan *fishbone* diagram terhadap variabel.

ISBN 978-602-73461-8-5

Menggambarkan *future state map* berdasarkan rencana solusi-solusi prioritas yang telah ditentukan, untuk memahami keadaan dari rencana sistem yang akan datang.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada Gambar 2 adalah aliran proses produksi dimulai dari proses kedatangan bahan baku dari supplier yang selanjutnya digunakan untuk proses pembuatan kacang shanghai. Proses pembuatan kacang shanghai sebagai berikut.

FLOW PROCESS CHART

RINGKASAN			**Pekerjaan:** Proses Produksi Kacang Shanghai
Kegiatan	**Jmlh**	**Wkt (dtk)**	**Lokasi:** PT. ABC
Operasi	24	2552	**Sekarang** [ ] **Usulan** [ ]
Transportation	10	410	
Inspection	3	29703	**Dipetakan Oleh:** Avinda Shaina Marastya
Storage	2	86430	**Tanggal Dipetakan:**
Delay	1	600	
Jarak total	40	119695	

NO	DESCRIPTION	SYMBOL	JARAK (m)	WAKTU (detik)
1	Pemilihan kacang		0	28800
2	Membawa kacang yang sudah dipilih ke ruang pembulatan		28	100
3	Memasukan kacang ke dalam Molen			13
4	Memasukan adonan bumbu cair			4
5	Memasukan tepung			4
6	Proses pembulatan kacang			600
7	Mengambil kacang yang sudah jadi didalam Molen			54
8	Membawa kacang ke proses pengayakan		4	15
9	Memasukan kacang kedalam mesin pengayak			8
10	Proses pengayakan kacang			18
11	Membawa kacang yang sudah di ayak ke proses penggorengan		15	34
12	Mengambil minyak		2	19
13	Menuangkan minyak pada wajan/penggoreng			28
14	meng-set up mesin wajan/penggoreng			20
15	Menunggu wajan/penggoreng sampai panas			600
16	Memasukan kacang pada penggoreng			11
17	Menghidupkan tombol pengaduk otomatis pada penggoreng			1
18	Proses penggorengan kacang			900
19	Mematikan tombol pengaduk otomatis			1
20	Mengambil saringan			2
21	Proses menyaring kacang pada penggrorengan			63
22	Proses kacang dipindahkan ke nampan			5
23	Membawa kacang ke mesin peniris		6	35
24	Memasukan kacang ke mesin peniris			48
25	Proses penirisan kacang dengan mesin			600
26	Membawa kacang yang sudah di tiriskan ke tempat pendingin untuk di dinginkan dalam kaleng/blek		14	90
27	Memindahkan kacang ke blek/kaleng			35
28	kacang di diamkan (didinginkan) semalaman			86400
29	Membawa kacang yang sudah di diamkan semalaman (kacang kemarin) ke tempat seleksi kacang (mengambil kacang)		5	20
30	Proses seleksi kacang dari kaleng ke tumbu/bakul			900
31	Kacang yang sudah di seleksi dibawa ke ruang pengemasan		12	90
32	Memasukkan kacang ke mesin pengemasan			34
33	Proses kacang ditakar pada mesin pengemasan			12
34	Proses kacang dikemas			12
35	Proses pemindahan kacang yang telah dikemas ke proses pengelompokan kacang			40
36	Kacang yang sudah dikemas kemudian dilakukan proses pengelompokan kacang			7
37	Proses Quality Control			3
38	Proses Packaging (pengepakan isi 20 bungkus)			4
39	Proses pengikatan			35
40	Memindahkan kacang yang sudah dibungkus/diikat ke gudang			30

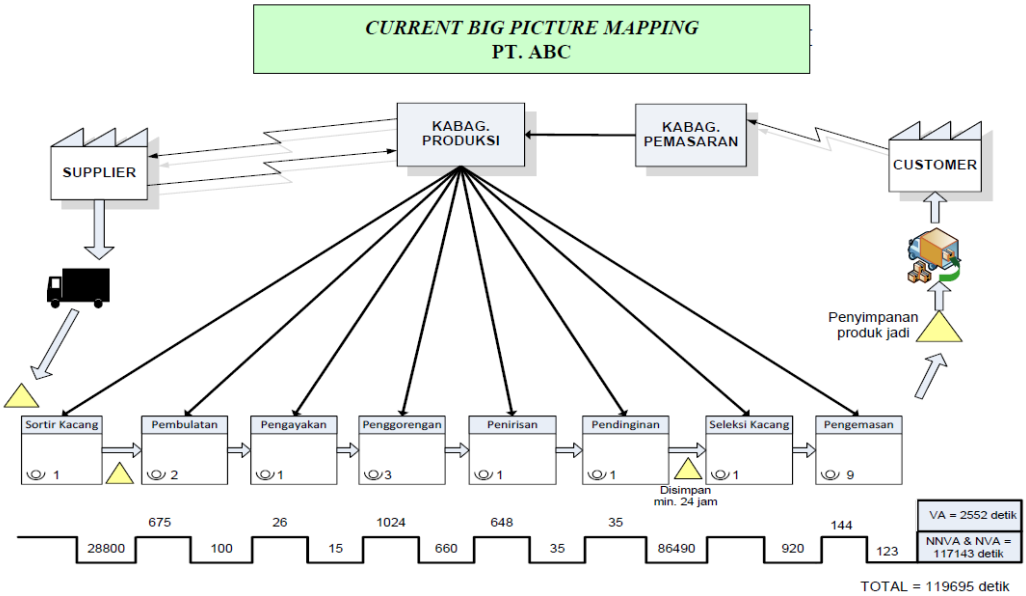
Gambar 2. *Flow process chart* kacang shanghai

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 1. Hasil skor rata-rata tiap jenis *waste*

No.	*Waste*	Skor Rata-rata	Ranking
1	*Unnecessary inventory* (persediaan yang tidak perlu)	2.2	1
2	*Waiting* (menunggu)	1.8	2
3	*Motion* (gerakan yang tidak perlu)	1.6	3
4	*Transportation* (transportasi berlebih)	1.4	4
5	*Defect* (kecacatan)	1.2	5
6	*Overproduction* (produksi berlebih)	1	6
7	*Overprocessing* (proses yang berlebih)	1	7

Tabel 1 menunjukkan rata-rata dari bobot 7 waste pada produksi kacang shanghai, dan bobot paling tinggi adalah 2,2 pada persediaan yang tidak perlu, kedua adalah 1,8 pada menunggu, dst.



Gambar 3. *Current Big Picture Mapping* (CBPM)
Sumber: Pengolahan Data, 2018

Pada Gambar 3 menunjukkan total *lead time* yang didapatkan pada 119.607 detik atau 1993 menit atau 33,22 jam. Dengan total waktu *Non-Value Adding* (NVA) dan *Necessary Non-Value Added time* (NNVA) sebesar 117.062 detik, sedangkan total waktu *Value Added* (VA) sebesar 2545 detik. Pada tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan VALSAT diperoleh matriks/*mapping* yang memiliki nilai VALSAT tertinggi adalah PAM (*process activity mapping)* dengan total nilai 61. Sehingga dari rangking skor diatas *tools* yang terpilih untuk dianalisa lebih lanjut adalah *tools* PAM.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 2. Perhitungan VALSAT

Waste	RATA-RATA SKOR	PAM	SCRM	PVF	QFM	DAM	DPA	PS
Defects	1.2	1.2	-	-	-	-	-	-
Over Production	1	1	3	-	1	3	3	-
Waiting	1.8	16.2	16.2	1.8	-	5.4	5.4	-
Transportation	1.4	12.6	-	-	-	-	-	1.4
Un-Inventories	2.2	6.6	19.8	6.6	-	19.8	6.6	2.2
Un-Motions	1.6	14.4	1.6	-	14.4	-	-	-
In-Process	1	9	-	3	1	-	1	-
TOTAL		61	40.6	11.4	16.4	28.2	16	3.6

(Hines dan Rich, 1997, Hines dan Taylor, 2000)

Keterangan:
H (*high correlation and usefulness*) : faktor pengali = 9
M (*medium correlation and usefulness*) : faktor pengali = 3
L (*low correlation and usefulness*) : faktor pengali = 1

Tabel 3. Jumlah persentase tiap aktivitas PAM

Aktivitas	Jumlah Aktivitas	Presentase (%)
Operation	24	60.00
Transportation	10	25.00
Inspection	3	7.50
Storage	1	5.00
Delay	2	2.50
TOTAL	40	100

Dari Tabel 3 jumlah aktivitas yang terjadi, tipe aktivitas pada proses produksi kacang shanghai yang paling besar persentasenya adalah *operation* dengan jumlah aktivitas sebesar 24 dengan persentase 60%. Aktivitas ini merupakan kegiatan yang menunjukkan banyaknya proses pada produksi kacang shanghai.

Tabel 4. Jumlah waktu tiap aktivitas

Aktivitas	Waktu Aktivitas (detik)	Presentase (%)
Operation	2552	2.13
Transportation	410	0.34
Inspection	29703	24.82
Storage	86430	72.21

ISBN 978-602-73461-8-5

Aktivitas	Waktu Aktivitas (detik)	Presentase (%)
Delay	600	0.50
TOTAL	119695	100

Dari Tabel 4 bahwa berdasarkan waktu aktivitas terbesar pada proses produksi adalah waktu *storage* yaitu dengan waktu 86430 detik dengan persentase 72,21%.

Tabel 5. Persentase *Value Stream Activity* (detik)

Kategori Aktivitas	Waktu (detik)	Presentase (%)
VA	2552	2.13
NNVA	116543	97.37
NVA	600	0.50
TOTAL	119695	100

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa aktivitas yang memiliki persentase paling besar adalah kegiatan yang diperlukan tetapi tidak bernilai tambah (NNVA) dengan persentase 97.37%. Dapat dilihat bahwa perbandigan waktu aktivitas awal dan usulan sudah diminimalisir maupun dihilangkan. Berikut adalah penjelelasannya.

1. Pada proses sortir kacang ini merupakan kategori *inspection* NNVA atau aktivitas yang diperlukan namun tidak memberikan nilai tambah, sehingga pada aktivitas ini terdapat pemborosan. Pada proses ini hanya melibatkan 1 operator untuk menyortir kacang pada setiap 1 karungnya. Aktivitas ini tidak dapat dihilangkan, namun dapat diminimalisir yaitu dengan menambah 2 operator untuk menyortir 1 karung kacang. Sehingga, semula waktu pekerjaan 28800 detik menjadi 9000 detik.
2. Proses pembulatan terdapat *waste transportation* dikarenakan letak proses sortir ke proses pembulatan yang berjauhan, sehingga hal tersebut mengakibatkan waktu transportasi menjadi lebih lama. Pada *transportation* ini dapat diminimalisir waktunya dengan mendekatkan proses sortir ke proses pembulatan, apabila hal itu tidak dapat dilakukan, setidaknya dengan meletakkan stok kacang yang sudah disortir berdekatan dengan proses pembulatan. Hal ini dapat dipersingkat waktunya dari 100 detik menjadi 20 detik.
3. Pada proses penggorengan terdapat 7 jenis *waste* pada *transportation, operation* dan *delay*. Aktivitas yang terdapat *waste* yaitu pada:
   - Membawa kacang yang sudah di ayak ke proses penggorengan ini dapat diminimalisir waktunya dengan menambahkan alat bantu/alat angkut atau dengan menggunakan tenaga operator yang menganggur.
   - Mengambil minyak, menuangkan minyak, *set-up* mesin dan menunggu wajan panas merupakan pemborosan yang harus dikurangi karena memperlama proses selanjutnya. Aktivitas ini dapat dilakukan atau dipersiapkan sebelum proses menggoreng berlangsung sehingga tidak adanya waktu menunggu.
   - Pada proses mengambil saringan dan menyaring kacang ini dapat digabungkan dan diminimalisir waktunya menjadi 15 detik, karena pada proses selanjutnya kacang akan ditiriskan dengan mesin peniris sehingga penyaring manual tidak perlu dilakukan terlalu lama.
4. Pengangkutan kacang yang sudah ditiriskan ke tempat pendinginan letaknya

ISBN 978-602-73461-8-5

cukup berjauhan sehingga terdapat *waste* transportasi. Hal ini dapat diminimalisir dengan mendekatkan proses dan juga menambah alat angkut.

5. Proses pemilihan/seleksi kacang pada proses terdapat *waste* dari *inspection.* Kegiatan menyeleksi kacang ini merupakan aktivitas yang diperlukan namun tidak memberikan nilai tambah karena proses inspeksi ini telah dilakukan pada proses pengayakan menggunakan mesin pengayak yang berfungsi untuk memisahkan kacang yang sesuai ukuran dengan yang tidak sesuai ukuran, fungsinya pun sama dengan proses seleksi kacang ini, dan juga pada proses ini tidak menunjukkan atau sedikit adanya kacang yang rusak, sehingga perlunya diminimalisir. Akan tetapi, aktivitas yang terjadi di perusahaan tidak bisa langsung dihilangkan namun bisa diminimalisir dengan menambah 1 operator, yang awalnya 900 detik menjadi 250 detik.
6. Proses pengemasan ini terjadi *waste* pada *transportation* karena kacang yang akan dibawa ke ruang pengemasan berjauhan sedangkan masih ada ruang yang cukup luas. Hal ini dapat dimanfaatkan dengan mendekatkan aktivitas tersebut dan dapat mengurangi waktu.

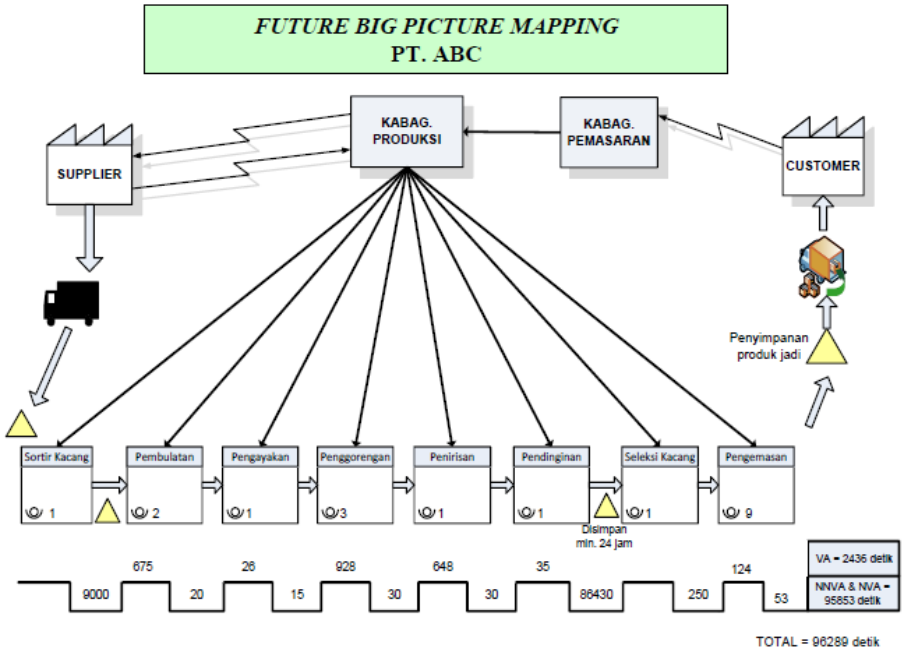
Pada penjelasan sebelumnya merupakan aktivitas yang dihilangkan maupun yang diminimalisir waktu prosesnya berdasarkan asumsi penelitian dilapangan dan juga pegawasan dari pihak perusahaan sehingga pihak perusahaan ikut menyetujui usulan penulis yaitu penghilangan aktivitas maupun meminimalisir waktu yang disetujui dan disepakati oleh pihak pabrik/perusahaan karena pihak perusahaan pun telah memperhitungkan waktunya dengan rekomendasi perbaikan yang disarankan hasil penelitian ini. Usulan perbaikan ini bertujuan untuk mengingatkan para pekerja untuk bekerja lebih produktif dan memanfaatkan waktu serta operator yang ada, sehingga dapat mengurangi aktivitas yang mengganggu atau memperlama waktu proses produksi yang mengakibatkan pemborosan.

Tabel 6. Perbandingan PAM berdasarkan *Value Stream Activity*

	Waktu Aktivitas (detik)		Persentase (%)	
Aktivitas	PAM Awal	PAM usulan	PAM awal	PAM usulan
VA	2552	2436	2.13	2.48
NNVA	116543	95853	97.37	97.52
NVA	600	0	0.50	0.00
TOTAL	119695	98289	100	100

Berdasarkan Tabel 6 terjadi kenaikan pada aktivitas ini dari 2.13% menjadi 2,48%. Karena aktivitas ini memiliki nilai tambah, maka sangat bagus jika aktivitas ini tinggi nilainya. Hal ini menandakan perusahaan lebih produktif dan pelanggan juga tidak merugi. Terjadi kenaikan pada yaitu dari 97,37% menjadi 97,52%. Tetapi, apabila dilhat pada tabel 4.12, terjadi penurunan waktu pada NNVA dari 116.543 detik menjadi 95.853 detik, sehingga waktu yang dapat dihemat sebanyak 20.690 detik. Penurunan persentase pada NVA yaitu dari 0,5% menjadi 0%. Hal ini baik bagi perusahaan dan pelanggan, dengan berkurangnya pemborosan atau aktivitas yang tidak bernilai tambah, pelanggan pun tidak merugi karena tidak membayar banyak untuk kegiatan yang tidak bernilai pada produk yang dipesan.

ISBN 978-602-73461-8-5



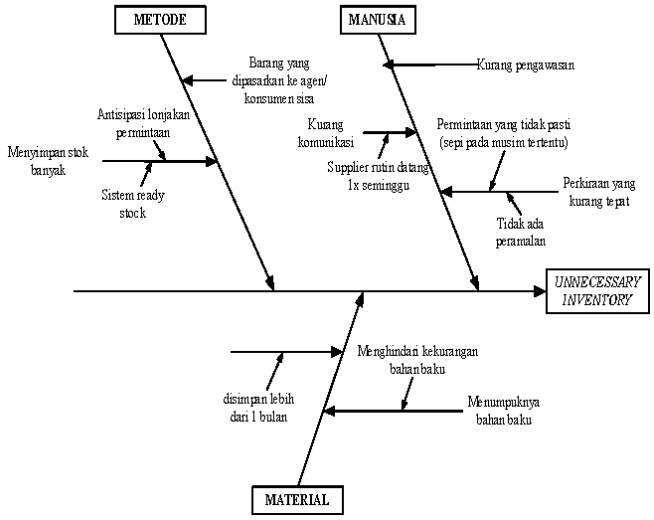
Dari Gambar 4 dapat diketahui jumlah *lead time* adalah 98.289 detik atau 1.638 menit atau 27,3 jam. Untuk perbandingan BPM awal (CBPM) dan BPM usulan (FBPM) dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 7. Perbandingan CBPM dan FBPM

NO	PROSES	WAKTU PROSES	
		CBPM (detik)	FBPM (detik)
1	Sortir Kacang	28.800	9.000
2	Pembulatan	775	695
3	Pengayakan	41	41
4	Penggorengan	1.684	958
5	Penirisan	683	683
6	Pendinginan	86.525	86.465
7	Pemilihan/Seleksi Kacang	920	270
8	Pengemasan	267	177
	TOTAL	119.695	98.289

Tabel 7 dapat dilihat bahwa pada proses sortir kacang mengalami penurunan dari 28.800 detik menjadi 9.000 detik,proses pembulatan dari 775 detik menjadi 695 detik Pada proses pengayakan tidak mengalami perubahan yaitu tetap 41 detik pada setiap sekali prosesnya. Pada proses penggorengan mengalami penurunan dari 1.684 detik menjadi 958 detik, dan pada penirisan tidak mengalami perubahan yaitu 683 detik. Lalu, pada proses pendinginan dari 86.525 detik menjadi 86.465 detik,proses seleksi kacang mengalami penurunan dari 920 detik menjadi 270 detik, dan yang terakhir pada proses pengemasan dari 267 detik menjadi 177 detik. Proses–proses ini mengalami penurunan waktu produksi dan usulan ini disertai pengawasan dari pihak perusahaan.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 5.*Fishbone unnecessary inventory*

Berdasarkan analisis penyebab *waste unnecessary inventory* dalam *fishbone* pada gambar 5 dapat diketahui bahwa terdapat 3 faktor penyebab, yaitu faktor manusia, faktor metode, dan faktor material. Untuk dapat meminimalkan *waste* ini, hal yang dapat dilakukan adalah pemberian pelatihan maupun penerapan mengenai *forecasting* atau peramalan maupun dengan penggunaan *software* untuk peramalan, Perencanaan Kebutuhan Material *(Material Requirement Planning),* melakukan penjadwalan produksi yang menyesuaikan dengan kebutuhan perusahaan guna untuk mengatasi *waste* ini dan dapat memprediksi permintaan konsumen lebih tepat sehingga dapat mengurangi terjadinya penyimpanan yang tidak diperlukan yang mengakibatkan penurunan kualitas dan merugikan pelanggan maupun perusahaan.

3.1 Identifikasi risiko

Berikut Tabel 8 adalah *list waste* dari kegagalan dan masalah-masalah yang sering terjadi pada saat kegiatan proses produksi yang diperoleh dari hasil pengamatan langsung, wawancara, dan *brainstorming*, dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 8. *List waste* identifikasi risiko

No	Kategori *waste*	Daftar *waste* (potensi kegagalan)	Penyebab *waste*	Efek *waste*
1	*Unnecessary Inventories*	• Kelebihan bahan baku sampai mengalami *expired*/penurunan kualitas (kacang membusuk) • Penyimpanan pada gudang berlebih	• Tidak ada peramalan • Kurangnya informasi antar karyawan • Permintaan pelanggan yang tidak menentu (tergantung musim)	• Bahan baku yang sudah busuk harus dibuang • Merugikan perusahaan • *Customer* kecewa

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Kategori *waste*	Daftar *waste* (potensi kegagalan)	Penyebab *waste*	Efek *waste*
2	*Waiting*	• Menunggu pada saat mempersiapkan produksi • Menunggu proses produksi • Menunggu *setting* mesin • Menunggu teknisi melakukan perbaikan mesin mesin *error*/rusak	• Beberapa proses produksi menggunakan mesin sehingga saat proses berlangsung operator menganggur • Belum mempersiapkan untuk produksi • Mesin yang kurang perawatan • Kurangnya operator	• *Lead time* menjadi lebih lama • Operator menganggur • Merugikan perusahaan dan pelanggan • Menurunnya produktivitas
3	*Motion*	• Operator yang masih belum memahami standar produksi • Mencari *tools* • Operator yang kurang fokus	• Operator tidak mengikuti *training* dengan benar • *Tools* (alat pengangkut material) yang kurang • Bekerja hanya 1 *shift* dan kurangnya operator	• Mengganggu operator lain yang sedang bekerja • Operator yang mudah jenuh • Menurunnya produktivitas
4	*Transportation*	• Proses yang berjauhan	• Bahan baku (tepung) yang mudah menyebar pada ruangan	• *Lead time* menjadi lebih lama
		• Alat transportasi perpindahan bahan yang kurang	• *Tools* terbatas	• Operator yang mudah jenuh dan Lelah
5	*Defect*	• Kemasan pada kacang tidak rapat	• Mesin yang *error* • Pemanas pada mesin yang mulai berkurang	• Merugikan perusahaan • Produksi terhambat
6	*Overproduction*	• Sedikitnya permintaan pelanggan pada musim tertentu	• Tidak ada peramalan • Memproduksi dengan jumlah rata-rata yang sama setiap harinya	• Penumpukan pada gudang • Ketidakpuasan karyawan/manajer • Turunnya laba
7	*Overprocessing*	• Penuangan bahan baku tepung yang berlebih • Operator yang tidak mengikuti aturan kerja	• Operator yang kurang memahami standar kerja (SOP)	• Bahan baku tepung yang tersisa pada mesin harus di buang • Merugikan perusahaan

ISBN 978-602-73461-8-5

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penilitian tugas akhir yang dilaksanakan di PT. ABC Tulungagung merupakan jawaban dari tujuan yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu sebagai berikut:

1. Dari hasil identifikasi tingkat *waste* dengan kuisioner dari yang sering terjadi adalah *waste unnecessary inventory* (persediaan yang tidak perlu) dengan skor rata-rata 2,2 selanjutnya yaitu *waste waiting* (menunggu), ketiga *waste motion* (gerakan yang tidak perlu), w*aste* urutan keempat yaitu *transportation* (transportasi/perpindahan berlebih), kelima yaitu *waste defect* (kecacatan), dan yang terakhir dengan rangking keenam dan ketujuh adalah *waste overproduction* (produksi berlebih) dan *overprocessing*.
2. Dari hasil pengolahan data menggunakan *value stream analysis tools* (VALSAT), *waste* dapat dikurangi dan dieleminasi. Berikut *waste* yang dikurangi dan dieliminasi:
   - Berdasarkan Jumlah Aktivitas→ Aktivitas *operation* naik persentasenya dari 60% menjadi 62,86% dengan mengurangi 2 aktivitas pada PAM, aktivitas *transportation* turun persentasenya dari 25% menjadi 22,86% dengan mengeliminasi 2 aktivitas pada PAM, aktivitas *inspection* naik persentasenya dari 7,50% menjadi 8,57% tanpa mengurangi/mengeliminasi aktivitas pada PAM, aktivitas *storage* naik persentasenya dari 5% menjadi 5,71% tanpa mengurangi aktivitas pada PAM, aktivitas *delay* turun perentasenya dari 2,5% menjadi 0% dengan mengurangi 1 aktivitas pada PAM.
   - Berdasarkan Waktu Aktivitas→ aktivitas *operation* naik persentasenya dari 2,13% menjadi 2,48% dengan pengurangan waktu dari 2552 detik menjadi 2436 detik, aktivitas *transportation* turun persentasenya dari 0,34% menjadi 0,17% dengan pengurangan waktu dari 410 detik menjadi 170 detik, aktivitas *inspection* turun persentasenya dari 24,82% menjadi 9,41% dengan pengurangan waktu dari 29.703 detik menjadi 9253 detik, aktivitas *storage* naik persentasenya dari 72,21% menjadi 87,93% tanpa mengalami pengurangan waktu, aktivitas *delay* turun persentasenya dari 0,50% menjadi 0% dengan pengurangan waktu dari 600 detik menjadi 0 detik.
   - Berdasarkan *Value Stream Activity*→ *Value added activity* naik persentasenya dari 2,13% menjadi 2,48% dengan pengurangan waktu pada VA dari 2552 detik menjadi 2436 detik, *necessary but non value added activity* naik *persentasenya* dari 97,37% menjadi 97,52% dengan pengurangan waktu pada NNVA dari 116.543 detik menjadi 95.853 detik, *non value added activity* turun persentasenya dari 0,50% menjadi 0% dengan pengurangan waktu pada NVA dari 600 detik menjadi 0 detik.
3. Usulan yang dapat berpengaruh besar salah satunya yaitu dengan menambah tenaga kerja karena memang sangat berpengaruh pada hasil produksi dan perlunya untuk menambah divisi baru. sehingga proses produksi dapat berjalan dengan lebih baik, selain itu juga perlunya meningkatkan pengawasan yang lebih ketat pada produksinya terhadap pekerja dan mesin yang akan digunakan untuk diberi perawatan secara rutin guna menghindari kerusakan pada mesin.

ISBN 978-602-73461-8-5

4.2 Saran

Saran yang dapat diberikan kepada perusahaan dari penelitian ini yaitu: Untuk penelitian berikutnya, bisa dengan menggunakan metode *lean manufacturing* yang lainnya seperti dengan mengaplikasikan beberapa *tools* pada VALSAT dan analisis resiko pada usulan perbaikan bisa menggunakan FMEA sehingga bisa mendapatkan hasil yang lebih maksimal.

Daftar Pustaka

Damayanti, T. (2017). Tugas Akhir. "Analisis Pemborosan Proses Produksi *Pipe Spooling* Dengan Penerapan *Lean Manufacturing* (Studi Kasus: PT. Multi Fabrindo Gemilang)". Jurusan Teknik Industri. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta.

Hines, P. & D. Taylor, (2000). "*Going Lean" Lean Enterprise Research Center Cardiff, Bussines School*, USA.

Kurniawan, T. (2012). "Perancangan *Lean Manufacturing* Dengan Metode VALSAT Pada *Line* Produksi *Drum Brake Type* Imv (Studi Kasus: PT. Akebono Brake Astra Indonesia)". Program Studi Teknik Industri. Universitas Indonesia (UI) Depok.

Rahmawati, U. (2005). "Proses Produksi Kacang Atom, Kacang Bandung Dan Pang-Pang) Di UD. Bintang Walet Handika Klaten Jawa Tengah". Fakultas Pertanian. Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Sari R. A. D. P. (2015). "Aplikasi *Edible Film* Pati Biji Nangka (*Artocarpus Heterophyllus Lamk*.) dan Pektin Apel (*Malus Sylvestris* Mill) Pada Buah Anggur Hijau (*Vitis Vinivera L*)". Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

ISBN 978-602-73461-8-5

Analisis Kebijakan *Preventive* dan *Corrective Maintenance* pada Mesin Rotogravure di PT. Bukit Muria Jaya-Kudus (Studi Kasus pada PT BUKIT MURIA JAYA-KUDUS)

Carina Eka Putri, Ratna Purwaningsih
Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
Telp. (+6224) 7460052
Email: carinaekaputri.cep@gmail.com

Intisari

PT. Bukit Muria Jaya Kudus adalah perusahaan packaging rokok yang berada di Kudus. Perusahaan ini merupakan perusahaan yang tergabung dalam Djarum Group. Saat ini perusahaan memiliki satu mesin Rotogravure untuk produksi dan dua mesin folder untuk pengeleman packaging rokok. Mesin Rotogravure bisa memproduksi kurang lebih 2 juta pcs packaging rokok dalam satu hari. Dengan pemakaian mesin selama 24 jam membuat mesin mengalami gangguan yang menyebabkan berhentinya mesin untuk melakukan produksi sehingga diperlukan perbaikan yang menyebabkan hilangnya waktu untuk melakukan produksi. Oleh sebab itu, maka dilakukan analisis mengenai kebijakan jadwal perawatan mesin. Metode yang digunakan adalah corrective maintenance dan preventive maintenance, kedua kebijakan ini akan dibandingkan berdasarkan biaya yang dihasilkan yang nantinya akan menjadi usulan bagi perusahaan untuk menerapkan sistem terbaik dalam melakukan perawatan mesin. Kebijakan preventive dan corrective maintenance ini dipilih berdasarkan biaya yang paling minimal. Biaya corrective maintenance yang dihasilkan sebesar Rp 525.286. Total biaya maintenance yang paling minimum pada preventive maintenance adalah pada minggu ke- 16. Total biaya perawatan yang dikeluarkan adalah sebesar Rp. 40.293,9 dengan biaya perbaikan sebesar Rp. 92.951,746. Oleh karena itu, kebijakan yang diambil adalah kebijakan preventive maintenance karena total biaya yang dihasilkan minimal.

Kata kunci: jadwal perawatan ;kebijakan corrective; kebijakan preventive; biaya minimal;pengepakan.

1. Pendahuluan

PT Bukit Muria Jaya Kudus yang tergabung dalam Djarum Group adalah perusahaan yang bergerak dalam produksi packaging rokok. Saat ini perusahaan memiliki satu mesin Rotogravure untuk produksi dan dua mesin folder untuk pengeleman packaging rokok. Mesin Rotogravure bisa memproduksi kurang lebih 2 juta pcs packaging rokok dalam satu hari. Dengan pemakaian mesin selama 24 jam membuat mesin mengalami gangguan yang menyebabkan berhentinya mesin untuk melakukan produksi sehingga diperlukan perbaikan yang menyebabkan hilangnya waktu untuk melakukan produksi. Permasalahan yang sering terjadi adalah kerusakan pada speed flow . Maka dari itu diperlukan penjadwalan pemeliharaan terhadap komponen yang memiliki tingkat breakdown tinggi sehingga mampu meminimumkan biaya yang terjadi akibat sering terjadinya breakdown. Pada permasalahan ini, dilakukan maintenance terhadap mesin rotogravure untuk

ISBN 978-602-73461-8-5

mengurangi peluang terjadi kerusakan pada komponen-komponen yang terdapat pada mesin rotogravure.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui biaya optimal untuk maintenance, memberikan gambaran mengenai frekuensi kerusakan dari mesin rotogravure, menganalisa jadwal preventive maintenance policy yang digunakan oleh bagian maintenance, memberikan gambaran biaya yang dikeluarkan untuk perawatan mesin rotogravure.

2. Metode

Penelitian ini dilaksanakan di PT Bukit Muria Jaya-Kudus bagian departemen *maintenance*. Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 2 Januari 2018 sampai dengan 2 Februari 2018. Dalam desain penelitian, data diperoleh dari sumber data yang terbagi menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang di dapat secara langsung melalui survei di lapangan, yaitu dengan melakukan wawancara langsung tentang proses produksi maupun kerusakan yang sering terjadi pada mesin dan pengamatan secara langsung pada mesin rotogravure. Data sekunder berupa data historis dari perusahaan dari bulan September 2017 – Desember 2017, seperti data jumlah kerusakan, data jenis kerusakan serta berapa lama kerusakan terjadi dan biaya yang dikeluarkan perusahan untuk melakukan perawatan. Di dalam penelitian ini menggunakan kebijakan *preventive* dan *corrective maintenance*. Kebijakan *preventive* dan *corrective maintenance* ini digunakan untuk mengetahui biaya yang paling minimal dikeluarkan oleh perusahaan diantara kebijakan tersebut. Pemilihan metode tersebut dapat membantu bagaimana cara mengetahui kebijakan perawatan yang tepat untuk digunakan oleh perusahaan.

2.1. Teknik pengumpulan data

Teknik pengumpulan data merupakan proses yang bertujuan untuk memperoleh data yang penting untuk mendukung penelitian, data yang bisa diperoleh diantaranya seperti data historis perusahaan dan data hasil wawancara.

a. Data historis perusahaan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data jumlah kerusakan, data jenis kerusakan serta berapa lama kerusakan terjadi dan biaya yang dikeluarkan perusahan untuk melakukan perawatan dari bulan September 2017-Desember 2017.
b. Data hasil wawancara yang diperoleh yaitu dengan melakukan wawancara langsung tentang proses produksi serta kinerja mesin rotogravure yang digunakan 24 jam setiap hari.

2.2. Teknik pengolahan data

Teknik pengolahan data dilakukan untuk mencari penyelesaian suatu masalah dalam penelitian. Pada tahapan ini, data yang digunakan untuk melakukan penelitian merupakan data jumlah kerusakan, data jenis kerusakan serta berapa lama kerusakan terjadi dan biaya yang dikeluarkan perusahan untuk melakukan perawatan dari bulan September 2017-Desember 2017. Pengolahan data dilakukan dengan mengolah data yang telah dikumpulkan dengan menghitung biaya pada saat dilakukan *preventive maintenance* dan *corrective maintenance.* Pengolahan data juga menggunakan *software* Ms.Excel.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan terhadap probabilitas dari *breakdown* mesin selama bulan September 2017-Desember 2017 untuk mengetahui pada minggu ke berapa mesin mengalami *breakdown* yang tinggi. Kemudian dihitung biaya yang

ISBN 978-602-73461-8-5

dikeluarkan oleh perusahan per minggu. Berikut ini adalah data kerusakan yang sering terjadi pada mesin rotogravure:

Tabel 1. Data kerusakan mesin

No	Jenis Trouble	Banyak Kerusakan	Persentase Kerusakan
1	Speed Flow Fault	24	19.672 %
2	Unwinder Fault	40	32.787 %
3	Pendingin UV Bocor	11	9.016 %
4	Hunkeler fault	5	4.098 %
5	Sensor tidak bisa mendeteksi	5	4.098 %
6	Splicing fault	2	1.639 %
7	Belt joger geser	12	9.836 %
8	RDC cutting relay fault	5	4.098 %
9	Akrilik Pada Joger Pecah	6	4.918 %
10	Belt lepas	12	9.836 %

(Sumber: Departemen Maintenance PT Bukit Muria Jaya)

Dari data diatas diketahui bahwa bagian mesin rotogravure yang sering mengalami kerusakan selama September 2017-Desember 2017 adalah unwinder.
Komponen biaya *maintenance*:

1. Biaya tenaga kerja untuk melakukan preventive maintenance atau repair maintenance berasal dari karyawan (berdasarkan UMR) Kota Kudus yaitu sebesar Rp 10.881,-/jam
2. Banyaknya operator yang melakukan preventive maintenance 2 orang
3. Waktu untuk melakukan preventive maintenance adalah 5 jam.
4. Waktu operasi tiap harinya adalah 24 jam.
5. Pengadaan sparepart untuk mesin pada saat preventive maintenance sebesar Rp 550.000
6. Pengadaan sparepart untuk repair mesin berupa pergantian belt Rp 300.000 bearing Rp 160.000
7. Harga grease oil Rp. 120.000

3.1. Perhitungan probabilitas kerusakan mesin

Tabel 2. Perhitungan probabilitas *breakdown*

No	**Bulan**	**Minggu ke-**	**Frek. *Down Time***	**Probabilitas**
1	September	1	14	0,115
		2	2	0,016
		3	0	0,000
		4	9	0,074
2	Oktober	5	7	0,057
		6	7	0,057
		7	9	0,074
		8	6	0,049
3	November	9	17	0,139
		10	7	0,057

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Bulan	Minggu ke-	Frek. *Down Time*	Probabilitas
4	Desember	11	10	0,082
		12	5	0,041
		13	14	0,115
		14	4	0,033
		15	8	0,066
		16	3	0,025
Total			122	

3.2. Penentuan biaya *preventive maintenance* (cm)

Perhitungan biaya akan dihitung berdasarkan penerapan preventive maintenance pada perusahaan tersebut :

1. Pemakaian grease oil = 16 x Rp 120.000 = Rp 1.920.000
2. Biaya part = Rp 550.000
3. Rata-rata waktu perawatan = 5 jam
4. Gaji tenaga kerja = Rp 1.740.900,-
5. Tenaga kerja= Rp 1.740.900,- / (8 x 5 x 4)
   = Rp 10.881 x 5 jam x 2 orang
   = Rp 108.810,-

Jadi unit cost of preventive (Cm) mesin adalah :
= Rp 1.920.000 + Rp 550.000 + Rp 108.810
= Rp 2.578.810/bulan
= Rp 644.702,5/minggu

3.3. Penentuan kebijakan *corrective* (Cr)

Jumlah mesin (N) = 1 mesin
Biaya parts = Rp 460.000
Biaya operator repair = Rp 10.881,-/jam
Jumlah operator repair = 2 orang

$$Tb = p_1T_1 + p_2T_2 + p_3T_3 + p_4T_4 + p_5T_5 + p_6T_6 + p_7T_7 + p_8T_8 + p_9T_9 + p_{10}T_{10} + p_{11}T_{11} + p_{12}T_{12} + p_{13}T_{13} + p_{14}T_{14} + p_{15}T_{15} + p_{16}T_{16} \quad \text{..... (1)}$$

= (0.115)(1) + (0.016)(2) + (0)(3) + (0.074)(4) + (0.057)(5) + (0.057)(6) + (0.074)(7) + (0.049)(8) + (0.139)(9) + (0.057)(10) + (0.082)(11) + (0.041)(12) + (0.115)(13) + (0.033)(14) + (0.066)(15) + (0.025)(16)
$= 8{,}533$ minggu

Cr = {(waktu untuk memperbaiki x jumlah tenaga kerja x biaya tenaga kerja per jam kerja) + biaya sparepart}..... (2)
= (3 x 2 x Rp 10.881) + Rp 460.000 = Rp 525.286

Biaya *corrective maintenance* yang diperkirakan adalah:

$$TCr = B\ x\ Cr = \frac{N}{Tb} xCr \quad \text{..... (3)}$$

$$= \frac{1}{8{,}533}\ x\ Rp\ 525.286$$

$$= Rp\ 61.559{,}358$$

ISBN 978-602-73461-8-5

TMC = TCr ..... (4)
Maka TMC (*corrective maintenance policy*) = Rp 61.559,358

Dimana: TCr = *Expected cost of repair* per bulan
B = Jumlah rata-rata *breakdown*/bulan untuk mesin
Cr = Biaya perbaikan
Tb = Rata-rata runtime per mesin sebelum rusak
N = Jumlah mesin

3.4. Penentuan kebijakan *preventive maintenance*

Preventive Maintenance Policy untuk n = 1 minggu. Apabila *Preventive Maintenance* ditentukan tiap minggu, maka:

1. Kumulatif jumlah *breakdown* dalam 1 minggu
$B_1 = N\ x\ p_1 = (1)(0) = 0$ mesin ..... (5)
2. Jumlah rata – rata *breakdown* per 1 minggu
$B = \frac{B_n}{n} = \frac{B_1}{1} = \frac{0}{1} = 0$ mesin/minggu ..... (6)
3. Perkiraan biaya *corrective* per 1 minggu
$TCr(n) = B\ x\ Cr$ ..... (7)
$TCr(1) = (0)(\text{Rp } 525.286) = Rp\ 0$ /minggu
4. Perkiraan biaya *preventive maintenance* per 1 minggu
$TCm(1) = \frac{NxCm}{n}$ ..... (8)
$TCm = \frac{(1)(\text{Rp } 644.702{,}5)}{1}$
TCm $= Rp$ Rp 644.702,5 / minggu
5. Total biaya *maintenance* per 1 bulan
$TMC\ (1) = TCr(1) + TCm(1)$ ..... (9)
$TMC = Rp$ 644.702,5, - / minggu

Dimana: TMC (n) = biaya total perawatan per bulan
TCr (n) = biaya repair per bulan
TCm (n) = biaya preventive maintenance per bulan
n = jumlah periode

Berikut adalah tabel hasil perhitungan perkiraan biaya:

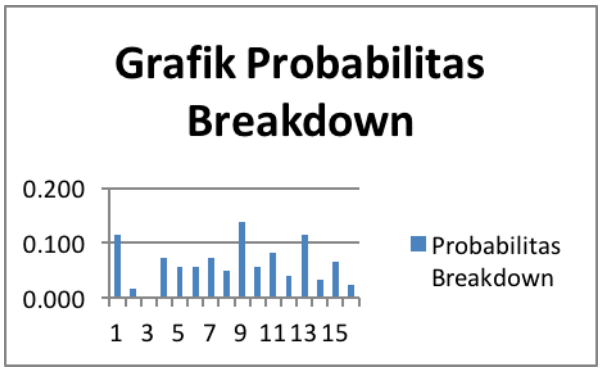
Tabel 3. Perkiraan biaya

n	Probabilitas Breakdown	Bn	B	TCr (n)	TCM(n)	TMC(n)
1	0.115	0	0	Rp -	Rp 644.703	Rp 644.703
2	0.016	0.131	0.06557	Rp 34.445	Rp 322.351	Rp 356.796
3	0.000	0.262	0.08743	Rp 45.927	Rp 214.901	Rp 260.827
4	0.074	0.237	0.059	Rp 31.145	Rp 161.176	Rp 192.321
5	0.057	0.294	0.059	Rp 30.867	Rp 128.941	Rp 159.807
6	0.057	0.367	0.061	Rp 32.126	Rp 107.450	Rp 139.576
7	0.074	0.467	0.067	Rp 35.062	Rp 92.100	Rp 127.163
8	0.049	0.542	0.068	Rp 35.610	Rp 80.588	Rp 116.197

ISBN 978-602-73461-8-5

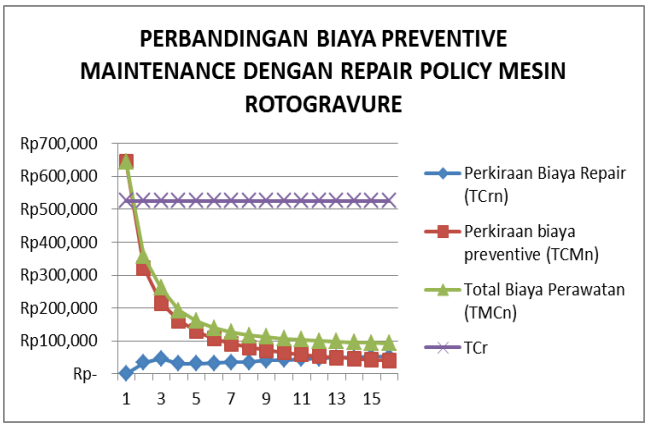
n	Probabilitas Breakdown	Bn	B	TCr (n)	TCM(n)	TMC(n)
9	0.139	0.712	0.079	Rp 41.548	Rp 71.634	Rp 113.182
10	0.057	0.813	0.081	Rp 42.719	Rp 64.470	Rp 107.190
11	0.082	0.947	0.086	Rp 45.239	Rp 58.609	Rp 103.849
12	0.041	1.050	0.087	Rp 45.946	Rp 53.725	Rp 99.671
13	0.115	1.224	0.094	Rp 49.451	Rp 49.593	Rp 99.044
14	0.033	1.333	0.095	Rp 50.029	Rp 46.050	Rp 96.079
15	0.066	1.482	0.099	Rp 51.902	Rp 42.980	Rp 94.882
16	0.025	1.604	0.100	Rp 52.658	Rp 40.294	Rp 92.952

Hasil perhitungan diatas maka dapat dibuat grafik untuk melihat pola distribusi *breakdown* yang terjadi pada mesin rotogravure. Distribusi *breakdown* tersebut mencerminkan kekompleksan dan kualitas desain dari suatu komponen (Dervitsiotis, 1981).



Gambar 1. Grafik probabilitas *breakdown*

Berdasarkan grafik di atas, dapat diketahui bahwa probabilitas kerusakan selama tahun September 2017 hingga Desember 2017 tidak menunjukkan pola distribusi yang jelas sehingga probabilitas kerusakan mesin rotogravure September 2017 hingga Desember 2017 termasuk pola case 2, dikarenakan waktu breakdownnya sulit untuk diprediksi.



Gambar 2. Grafik biaya *maintenance*

ISBN 978-602-73461-8-5

Berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan didapat biaya kebijakan *corrective* sebesar Rp 525.286. Dari gambar grafik tersebut dapat dilihat bahwa penerapaan kebijakan preventive lebih ekonomis dibandingkan dengan kebijakan repair. Dapat dilihat pada setiap periode dan seterusnya memberikan harga yang minimum. Total biaya maintenance yang paling minimum bila preventive maintenance dilakukan adalah pada minggu ke- 16. Total biaya perawatan yang dikeluarkan adalah sebesar Rp. 40.293,9 dengan biaya perbaikan sebesar Rp. 92.951,746.

4. Kesimpulan

Penggunaan mesin produksi yang terus menerus selama 24 jam menyebabkan menurunnya produktivitas mesin. Hal ini menyebabkan waktu untuk memproduksi barang menjadi bertambah dan dapat menyebabkan tidak terpenuhinya pesanan pelanggan. Dari hasil penelitian yang diperoleh diketahui bahwa tipe distribusi frekuensi breakdown mesin rotogravure selama bulan September 2017 hingga Desember 2017 mengikuti distribusi frekuensi breakdown case 2, dimana waktu breakdown susah untuk diprediksi. Hal ini bisa disebabkan oleh tingkat perawatan yang dilakukan oleh perusahaan, sehingga sulit untuk menentukan waktu yang pasti akan terjadinya kerusakan.

Kebijakan perawatan yang optimal pada mesin rotogravure adalah kebijakan preventive maintenance yang dilakukan setiap 16 minggu sekali. Hal ini dikarenakan periode ke-16 memiliki biaya *preventive* yang lebih murah daripada *corrective maintenance*. *Corrective maintenance* adalah perawatan yang dilakukan dengan cara mengidentifikasi penyebab kerusakan dan kemudian memperbaikinya sehingga mesin atau peralatan produksi dapat beroperasi normal kembali, sedangkan *preventive maintenance* yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada mesin selama operasi berlangsung. Berikut adalah perbandingan biaya yang dikeluarkan perusahaan saat menggunakan *corrective* policy dan *preventive* policy adalah:

Tabel 4. Perbandingan biaya

Preventive/bulan	*Repair*/bulan
Rp 1.343.130	Rp111.517
Rp 409.079	Rp133.665
Rp 248.438	Rp175.453
Rp 178.917	Rp204.039

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa pada bulan keempat yaitu pada bulan Desember 2017 biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan lebih kecil. Hal ini berarti perusahaan selalu berusaha melakukan perbaikan terhadap sistem perawatan yang dilakukan oleh perusahaan. Pada penelitian ini data yang digunakan masih kurang sehingga sulit untuk melihati trend data, seharusnya data yang digunakan satu tahun atau lebih agar trend data bisa terlihat. Untuk itu pada penelitian selanjutnya peneliti harus memiliki data kerusakan mesin selama satu tahun penuh atau lebih, serta belum menggunakan metode pembanding untuk membandingkan hasil dari penelitian.

Daftar Pustaka

Dervitsiotis, Kostas .,N, 1981, *Operation Management*. New York : Mc Graw-Hill Book Company

ISBN 978-602-73461-8-5

Djunaidi, Much., Bakdiyono,Eko., 2012, Minimasi Biaya Perawatan Dengan Menggunakan Metode Preventive Maintenance Policy, Jurnal Ilmiah Teknik Industri, Vol. 11(2).

Girdhar, Pares.2004. *Practical machinery vibration and analysis & Predictive Maintenance*. Oxford: Newnes Inc.

Harvard, T. (2000). Determine of a Cost Optimal, Predetermined Maintenance Schedule.

Jardine, A.,K.,S., 2006, *Maintenance, Replacement and Reliability.* Taylor and Francis Group. New York: LLC.

Komarasakti, Dekrita., Analisis Biaya Pemeliharaan Mesin Terhadap Kualitas Produksi Pada PT X. 2008, Jurnal Computech & Bisnis, Vol. 2 No. 1, pp. 52-59.

Kyriakidis, E.,G., Dimitrakos, T.,D., 2006, Optimal Preventive Maintenance Of A Production System With An Intermediate Buffer, European Journal of Operational Research, Vol.168, pp. 86–99.

Surya, Destina., Alhilman, Judi., Athari, Nurdinintya., Perancangan Usulan Preventive Maintenance pada Mesin Komori LS440, 2016, Jurnal e-Proceeding of Engineering Vol. 3 No. 2, pp. 2305.

Zulaihah, L., Fajriah, N., 2009, Program Perencanaan Kebijakan Penjadwalan *Preventive Maintenance* Unit Mesin Las. Jurnal Bina Teknika. Vol. 5(2), pp. 78 – 90.

ISBN 978-602-73461-8-5

Kajian Pendahuluan *Life Cycle Assessment* pada Produk Kertas Daur Ulang (Studi Kasus PT. Papertech Magelang)

Cici Finansia, Bertha Maya Sopha
Program Studi Pascasarjana Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No.2 Yogyakarta, 55281
Telp. 0274-521673
Email: cifinansia@gmail.com

Intisari

Industri kertas merupakan salah satu sektor yang paling sensitif terhadap lingkungan karena ketergantungannya yang besar terhadap air, energi, dan ekosistem hutan. Seiring dengan terbatasnya bahan baku kayu dan meningkatnya kesadaran dunia akan isu lingkungan menyebabkan industri kertas daur ulang berkembang pesat. Namun terdapat beberapa dampak yang ditimbulkan seperti penurunan kualitas air tanah dan udara serta dampak dari hasil sisa produksi/buangan diantaranya: limbah padat berupa sampah domestik dan sampah produksi (B3 dan non B3), limbah cair, dan gas (SO_x, CO_x, NO_x, H_2S). Menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA), penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengetahui potensi dampak lingkungan dari siklus hidup produk kertas daur ulang dimulai sejak proses persiapan bahan baku hingga pembuangan akhir limbah (from cradle to grave). Pengumpulan data inventori dilakukan di PT. Papertech Indonesia dengan unit fungsional yaitu 70 ton kertas chipboard. Klasifikasi kategori dampak pada penelitian ini menggunakan metode CML 2002 dan dalam penilaian dampaknya menggunakan software OpenLCA.

Kata kunci: life cycle assessment, kertas daur ulang, dampak lingkungan, OpenLCA, CML 200

1. Pendahuluan

Industri *pulp* dan kertas kebutuhannya diprediksi akan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk. Terbukti bahwa volume produksi *pulp* pada tahun 2012 sampai dengan 2016 terus mengalami peningkatan setiap tahunnya, yaitu pada tahun 2016 mencapai 6.003.574 ton (Kementerian Pekerjaan Umum dan Rumah Rakyat, 2017). Globalisasi pasar dan tumbuhnya kesadaran akan keberlanjutan membuat industri *pulp* dan kertas semakin rentan terhadap citra keberlanjutan perusahaan dan adanya tuntutan operasional yang lebih kompleks dari berbagai pemangku kepentingan (Toppinen et al., 2017).

Menurut Toppinen, et al. (2017), Industri *pulp* dan kertas merupakan salah satu sektor yang paling sensitif terhadap lingkungan karena ketergantungannya yang besar terhadap air, energi yang digunakan, dan ekosistem hutan sebagai sumber serat kayu. Sumber pencemaran lingkungan dari industri kertas dapat berasal dari bahan baku produksi, transportasi distribusi, emisi ke udara, pembuangan akhir limbah, dan bahan bakar dari penggunaan mesin maupun teknologi.

Seiring dengan terbatasnya bahan baku kayu dan meningkatnya kesadaran dunia terhadap masalah lingkungan, menyebabkan penggunaan kertas daur ulang sebagai bahan baku industri kertas berkembang pesat (Kementrian Perindustrian RI, 2012). Hal ini juga dipicu dengan harga bahan baku kertas bekas yang relatif murah dan adanya dukungan teknologi untuk membuat kertas dengan kualitas yang lebih baik. Kertas daur ulang

ISBN 978-602-73461-8-5

memanfaatkan kertas bekas yang masih memiliki nilai untuk dapat diolah kembali. Penggunaan kertas bekas merupakan sarana penting untuk mengurangi limbah dan solusi pemanfaatan sumber daya, sehingga memiliki dampak sosial yang cukup besar. Disamping kelebihan tersebut, terdapat beberapa kekurangan yang dapat berdampak bagi komponen lingkungan baik abiotik maupun biotik yang ditimbulkan dari hasil sisa produksi/buangan berupa limbah dan pencemaran antara lain: Limbah padat berupa sampah domestik dan sampah produksi (B3 dan non B3), Limbah cair, dan gas (SO_x, CO_x, NO_x, H_2S), debu dan kebisingan.

Sebelum diproduksi menjadi kertas yang dapat digunakan kembali, maka harus dilakukan serangkaian proses pemulihan kertas bekas. Pada tiap tahapan pemulihan tersebut, berbagai macam teknologi mesin maupun peralatan digunakan dan membutuhkan sumber energi serta bahan dasar untuk pemrosesan. Bahan kimia pada proses produksi apabila digunakan dalam jumlah besar serta limbahnya dibuang ke lingkungan maka dapat merubah kondisi alami lingkungan. Belum lagi emisi yang dihasilkan dari penggunaan teknologi dan transportasinya.

Dalam menjawab tujuan utama penelitian tentang bagaimana hubungan antara industri kertas daur ulang dengan dampak lingkungan yang ditimbulkan, maka dilakukan evaluasi secara komprehensif dengan metode *Life Cycle Analysis* (LCA). Metode LCA digunakan untuk mengukur jumlah konsumsi sumber daya dan emisi disetiap tahap kegiatan usaha mulai dari perolehan bahan baku, proses produksi, hingga pembuangan akhir. Studi LCA pada produk, proses dan sistem produksi memungkinkan pengelola untuk dapat mengidentifikasi tahapan atau sumber daya yang berkontribusi besar terhadap total dampak lingkungan, sehingga aspek perbaikan dan peningkatan dapat dilakukan dengan tepat.

2. Metode

Metode dalam penelitian ini yaitu LCA yang secara kuantitatif menilai dampak lingkungan dari suatu siklus hidup produk. Berdasarkan ISO 14044 (2006), kajian LCA terdiri dari empat kerangka utama yaitu (1) pendefinisian tujuan dan ruang lingkup, (2) analisis inventarisasi, (3) penilaian/penakaran dampak dan (4) interpretasi atau analisis perbaikan.

2.1. Pendefinisian tujuan dan ruang lingkup

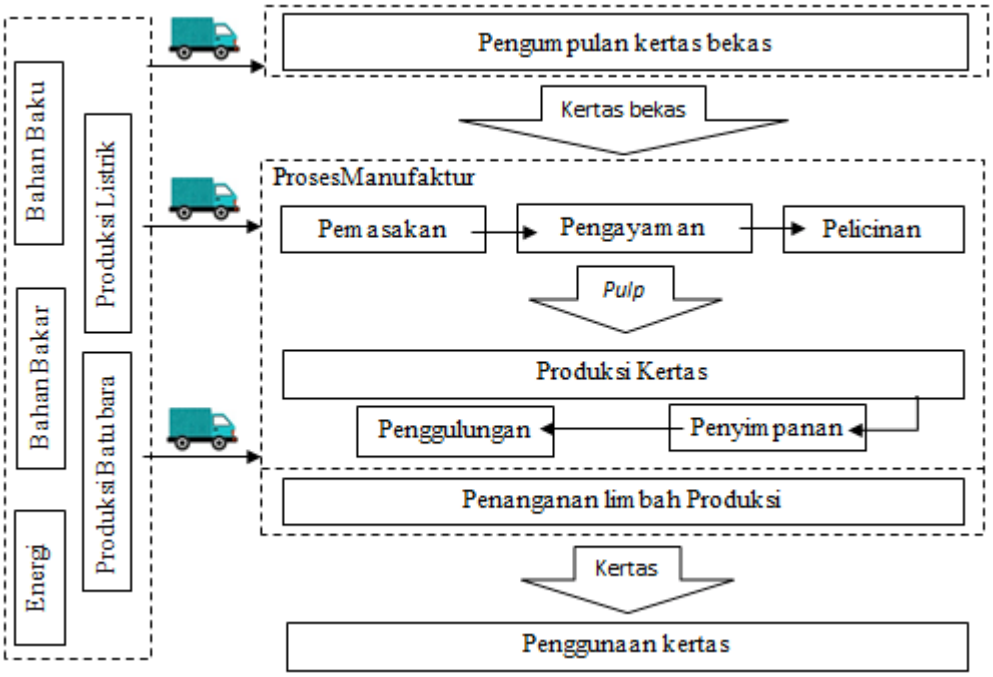
Tujuan dilakukannya studi ini adalah untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan menakar secara kuantitatif dampak lingkungan yang dihasilkan dari siklus hidup produk kertas daur ulang dimulai sejak proses persiapan bahan baku hingga pembuangan akhir limbah (*from cradle to grave).* Unit fungsional didasarkan pada jumlah produksi kertas daur ulang dalam 70 ton kertas *chipboard* dengan berat standar 200 gr/m^2. Kertas jenis *chipboard* ini dipilih berdasarkan jumlah permintaan paling banyak terhadap produsen PT. Papertech Indonesia dengan rata-rata permintaan sebesar 70 ton perhari.

Data yang terkait bahan baku, energi, bahan bakar, proses produksi, transportasi, jenis limbah dan penanganannya pada siklus hidup kertas daur ulang merupakan data yang diperoleh dari PT. Papertech Indonesia pada tahun 2018. Data yang tidak diperoleh baik dari industri kertas, lembaga swasta terkait, maupun lembaga pemerintah, maka menggunakan *database* pada tahun saat literatur tersebut terpublikasi.

Batasan sistem teknis pada objek kertas daur ulang terdiri dari empat tahapan utama seperti yang tersaji pada Gambar 1, yaitu: (1) Pengumpulan kertas bekas, (2) Manufaktur kertas daur ulang, (3) penanganan limbah hasil produksi dan (4) penggunaan kertas. Penelitian ini juga mengevaluasi dampak yang disebabkan oleh produksi listrik dan bahan bakar. Bahan bakar seperti batubara digunakan pada mesin boiler untuk memproduksi

ISBN 978-602-73461-8-5

uap kalori panas yang diteruskan pada proses *dryer,* selain itu menjadi bahan bakar pada pembangkit listrik yang digunakan. Diketahui bahwa batubara merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui, sehingga penting untuk diketahui dampaknya terhadap penipisan sumber daya alam dan kualitas ekosistem akibat dampak dan hasil sampingan dari proses pembakaran batu bara. Sedangkan listrik merupakan sumber energi utama terbanyak yang digunakan sepanjang fase manufaktur.



Gambar 1. Batasan sistem penelitian

Klasifikasi kategori dampak pada penelitian ini menggunakan metode *CML 2002*. Metode ini merupakan praktik terbaik untuk indikator *midpoint* yang terdiri dari: *Acidification, Climate change, Depletion of abiotic resources, Ecotoxicity, Eutrophication, Human toxicity, Ozone layer depletion,* dan *Photochemical oxidation*.

Tabel 1. Karakteristik dampak *CML 2002*

Midpoint Category	*Midpoint Reference substance*	*Damage Category*
Acidification	kg_{eq} *SO_2 into air*	*Ecosystem quality*
Climate Change	kg_{eq} *CO_2 into air*	*Climate change*
Depletion of abiotic resources	kg_{eq} *antimony*	*Resources*
Ecotoxicity	kg_{eq} *1,4-DCB into air*	*Ecosystem quality*
Eutrophication	kg_{eq} *PO_4^{3-} into air, water, soil*	*Ecosystem quality*
Human toxicity	kg_{eq} *1,4-DCB into air*	*Human health*
Ozone layer depletion	kg_{eq} *CFC-11 into air*	*Human health*
Photochemical oxidation	kg_{eq} *ethylene into air*	*Human health / Ecosystem quality*

ISBN 978-602-73461-8-5

2.2. Analisis Inventarisasi

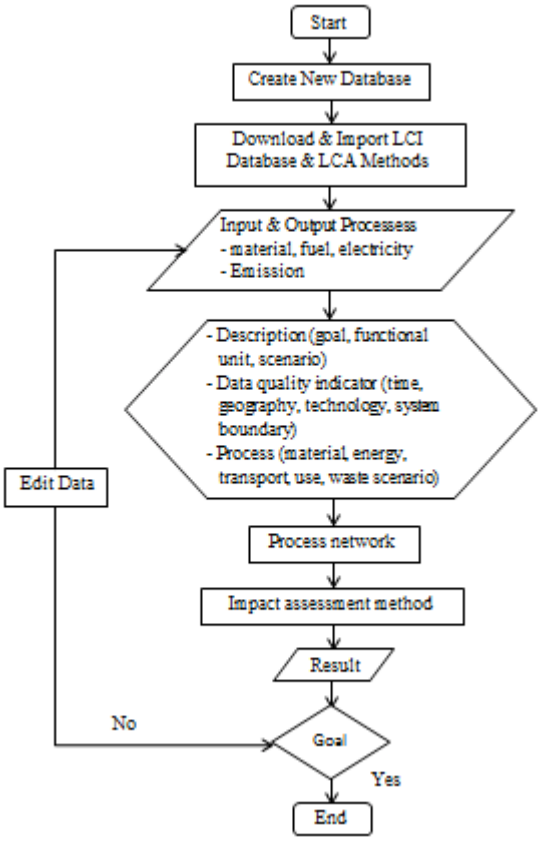
Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data secara lengkap. Adapun data yang dibutuhkan pada penelitian ini sesuai dengan batasan sistem yang telah ditentukan yaitu:

1. Pengumpulan kertas bekas
   Pada tahap pengumpulan kertas bekas, maka data yang dibutuhkan seperti: jarak tempuh bahan baku limbah ketas ke lokasi pabrik, jenis, kapasitas dan bahan bakar alat angkut/transportasi.
2. Manufaktur kertas *chipboard*
   Data yang dibutuhkan yaitu data proses produksi *pulp* dan kertas dengan bahan baku limbah kertas termasuk bahan kimia, konsumsi air, teknologi yang digunakan beserta sumber energinya, konsumsi listrik, serta limbah yang dihasilkan selama proses produksi baik limbah *renewable* maupun tidak. Limbah kertas yang digunakan terdiri dari kertas koran, kertas HVS, kardus, dan lainnya. Produksi dan pemeliharaan barang modal seperti bangunan, mesin, dan lainnya dikeluarkan dari penelitian ini.
3. Penanganan limbah produk
   Data yang diperlukan mengenai proses penanganan limbah kertas yang dilakukan oleh PT. Papertech melalui dua cara yaitu pengelolaan limbah cair dan padat. Kedua pengolaan tersebut akan dicatat bahan kimia, sumber energi, konsumsi air, dan teknologi pengolahannya.
4. Penggunaan produk
   Transportasi pendistribusian produk dari lokasi pabrik kepada *retailer* atau konsumen ikut diperhitungkan, berikut dengan dampak saat produk kertas daur ulang digunakan. Adapun data yang dibutuhkan seperti jarak tempuh, kapasitas, bahan bakar, dan data saat kertas daur ulang digunakan.

2.3. Penilaian dampak lingkungan

Analisis dampak dengan metode *CML 2002* pada penelitian ini terdiri dari tiga tahapan yaitu: kategori, klasifikasi, dan karakterisasi. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini yaitu OpenLCA yang merupakan perangkat lunak *open source* untuk *Life Cyle Assessment* (LCA) yang dikembangkan oleh *GreenDelta* sejak tahun 2006 (www.greendelta.com). Langkah kerja *software* OpenLCA disajikan pada Gambar 2.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 2. Langkah kerja *software* OpenLCA

2.4. Interpretasi hasil

Tahap interpretasi berupa penarikan kesimpulan dan rekomendasi berdasarkan hasil yang diperoleh pada tahap analisis inventori dan analisis dampak lingkungan untuk menemukan solusi alternatif sebagai usaha penanggulangannya. Sehingga rekomendasi tersebut dapat menjadi acuan dalam proses pengambilan keputusan dalam usaha mengurangi potensi dampak lingkungan yang ditimbulkan dan meningkatkan efisiensi dalam pemanfaatan sumber daya dan energi yang digunakan.

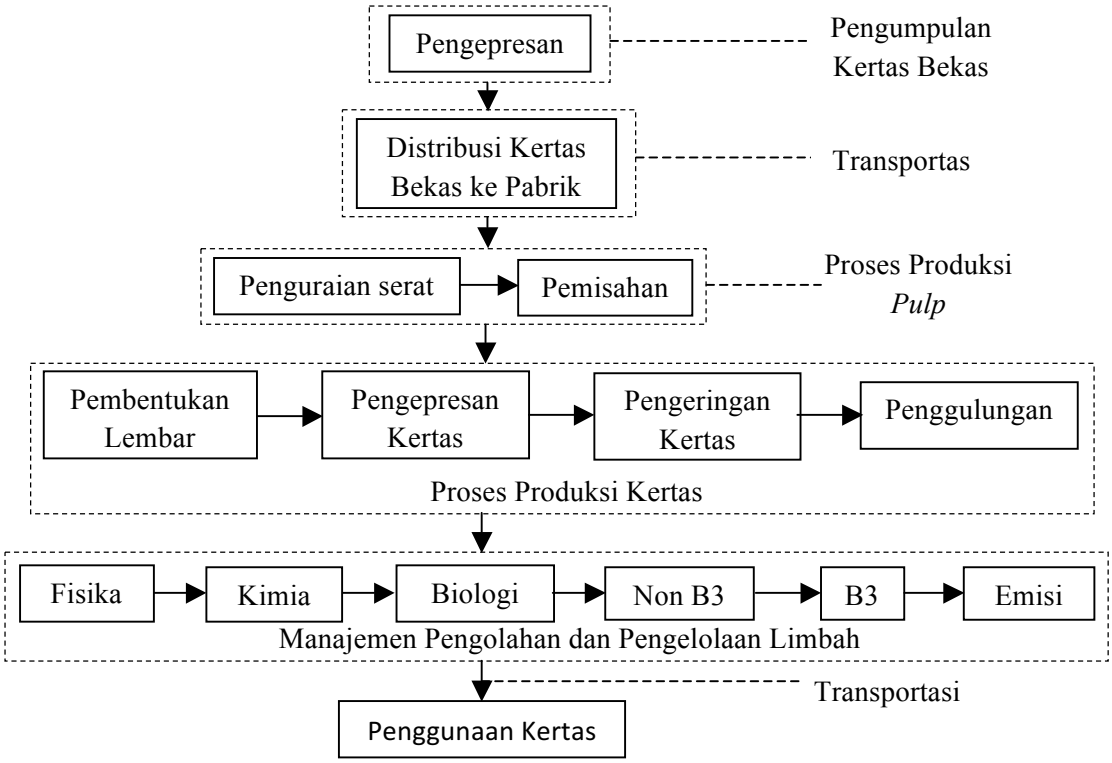
3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian tentang LCA berkembang pesat di hampir seluruh negara-negara industri untuk memberikan rekomendasi dari permasalahan yang timbul disetiap kegiatan, seperti dampak lingkungan yang timbul pada industri *pulp* dan kertas. Penelitian terdahulu mengenai LCA pada produk kertas dibedakan berdasarkan batasan sistemnya sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Seperti Lopes, et al. (2003) yang membandingkan dampak lingkungan dari bahan bakar minyak dan gas alam dalam proses produksi kertas, Gonza´lez-Garcı´a, et al. (2009) menganalisis dampak lingkungan pada pembuatan *pulp* dengan bahan baku *Eucalyptus Globulus*, Gaudreault, et al. (2009) mencari alternatif terbaik untuk meminimasi dampak dengan mengurangi jumlah energi atau bahan baku yang digunakan, dan Manda, et al. (2012) yang menyelidiki apakah penggunaan pelapis baru (mikro atau nano TiO_2) dan jenis *pulp* yang berbeda mampu menghemat kayu, energi, emisi dampak lingkungan pada produk kertas cetak dan tulis.

Pada penelitian ini industri kertas yang dikaji merupakan industri kertas daur ulang dimana bahan baku yang digunakan berasal dari kertas bekas. Sehingga dapat menjawab apakah keberadaan industri kertas daur ulang mampu mereduksi dampak lingkungan

ISBN 978-602-73461-8-5

akibat tidak menggunakan bahan baku kayu. Perbedaan juga terdapat pada software dan metode LCI (*Life Cycle Impact*) yang digunakan yaitu OpenLCA dan *CML 2002,* dimana pemilihan LCI didasarkan pada kesesuaian dengan potensi dampak yang ditimbulkan dan lingkup penelitian. Adapun diagram siklus hidup pada produk kertas daur ulang ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram siklus hidup kertas bekas

Pada tahap awal penelitian ini terdapat beberapa dampak lingkungan yang teridentifikasi dari kegiatan usaha pabrik kertas PT Papertech Indonesia, tertuang dalam dokumen upaya pengelolaan lingkungan hidup dan upaya pemantauan lingkungan hidup yang telah diperbarui pada semester kedua tahun 2017. Dampak-dampak yang terjadi pada periode Januari 2018 - Juni 2018 yaitu:

1. Penurunan kualitas air tanah
2. Penurunan tinggi muka air tanah
3. Penurunan kualitas udara (debu dan emisi)
4. Peningkatan kebisingan
5. Timbulan sampah (limbah padat industri dan domestik)
6. Timbulnya limbah B3 (Padat berupa *sludge* IPAL, *Fly ash* dan *Bottom ash*, dan cair)
7. Kerawanan terjadinya insiden kebakaran

Tahap selanjutnya pada penelitian ini akan dilakukan secara lebih terperici sesuai dengan kerangka penelitian pada *life cycle assessment.*

4. Kesimpulan dan Saran

Penggunaan kertas bekas merupakan sarana penting dalam mengurangi limbah dan solusi pemanfaatan sumber daya, sehingga memiliki dampak sosial yang cukup besar. Disamping kelebihan tersebut, terdapat beberapa kekurangan yang dapat berdampak bagi

ISBN 978-602-73461-8-5

komponen lingkungan yang ditimbulkan dari hasil sisa produksi/buangan berupa limbah dan pencemaran. Maka dilakukan evaluasi secara komprehensif dengan metode *Life Cycle Analysis* (LCA) untuk mengukur jumlah konsumsi sumber daya dan emisi disetiap tahap kegiatan usaha mulai dari perolehan bahan baku, proses produksi, hingga pembuangan akhir limbah.

Paper ini masih tebatas pada tahap awal identifikasi kerangka kerja, siklus hidup produk kertas daur ulang, dan identifikasi awal penelitian. Sehingga pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan analisis secara komprehensif mengenai dampak lingkungan dari siklus hidup produk kertas. Hasil perhitungan inventarisasi kemudian diinterpretasikan dengan memberikan solusi alternatif terbaik bagi pengurangan dampak lingkungan.

Studi LCA pada produk, proses dan sistem produksi siklus hidup produk kertas ini memungkinkan pengelola untuk dapat mengidentifikasi tahapan atau sumber daya yang berkontribusi besar terhadap total dampak lingkungan, sehingga aspek perbaikan dan peningkatan dapat dilakukan dengan tepat.

Daftar Pustaka

Gaudreault, Caroline., Samson, Jean., and Stuart, Paul., 2009, Implications Of Choices And Interpretation In LCA For Multi-Criteria Process Design: De-Inked Pulp, *Journal of Cleaner Production*, pp. 1535–1546.

Gonza, Lez., Garci´a., Hospido, Almudena., Moreira, Teresa., romero, Javier & Feijoo, Gumersindo., 2009, Environmental Impact Assessment Of Total Chlorine Free Pulp From Eucalyptus Globulus In Spain, *Journal of Cleaner Production*, pp. 1010–1016.

ISO 14044. 2006. *Environmental Management - Life Cycle Assessment: Requirements and Guidelines.* International Organization of Standardization Geneva, Switzerland.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Rumah Rakyat, 2017, *Kelola Sampah dari Sumbernya*, Bulletin Ciptakarya, Edisi 02/Tahun XV.

Kementrian Perindustrian Republik Indonesia, 2012, *Kajian Penggunaan Kertas Daur Ulang (Waste Paper) Sebagai Bahan Baku Industri Kertas*, Nomor 44/BBPK/KKS/2012.

Lopes, E., Dias, A., Arroja, L., Capela, I., and Pereira, F., 2003, Application Of Life Cycle Assessment To The Portuguese Pulp And Paper Industry, *Journal of Cleaner Production*, pp. 51–59.

Manda, B.M. Krishna., Blok, Kornelis., and Patel, Martin K., 2012, Innovations In Papermaking: An LCA Of Printing And Writing Paper From Conventional And High Yield Pulp, *Science of the Total Environment*, pp. 307–320.

Toppinen, Anne., Patari, Satu., Tuppura Anni., and Jantunen, Ari., 2017, The European Pulp And Paper Industry In Transition To A Bio-Economy: A Delphi Study, *Journal of Future*, pp. 1–14.

ISBN 978-602-73461-8-5

Hubungan Presepsi Metodologi ASD Tim Proyek terhadap Maturity ASD dan Keberhasilan Proyek di Indonesia

Citra Nudiasari, Budi Hartono
Pascasarjana Teknik Industri, Teknologi Industri Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No.2 Yogyakarta, 55281. Telp 0274-513665
Email: citra.nudiasari@gmail.com.

Intisari

Agile Software Development (ASD) adalah metodologi pengembangan software yang mengadopsi prinsip dasar lebih menekankan individu dan interaksi dari pada proses dan tools, software yang dapat berjalan dengan baik dibandingkan dengan dokumentasi yang detail, kolaborasi dengan konsumen dibandingkan dengan negosiasi kontrak dan merespon perubahan dibandingkan mengikuti rencana. Adopsi ASD pada proyek-proyek pengembangan software diharapkan dapat menghasilkan proyek yang berhasil. Namun, adopsi metodologi ASD tidaklah mudah dan hal ini juga terlihat dari masih adanya proyek-proyek tidak berhasil walapun menggunakan ASD. Untuk memastikan proses adopsi berjalan dengan baik, maka perlu dilakukan evaluasi. Model maturity adalah instrumen yang digunakan untuk menilai kemampuan dan inisiasi apa yang dapat dijalankan untuk meningkatkan kematangan suatu elemen – apakah elemen itu manusia, objek, proses atau system. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi maturity ASD dan apakah maturity ASD mempengaruhi keberhasilan proyek. Identifikasi faktor-faktor yang menjadi hipotesis penelitian dengan kajian literature dan olah data dilakukan dengan uji regresi berganda. Hasil penelitian menunjukan faktor bahwa metodologi itu dipresepsikan anggota tim proyek membawa manfaat dan mudah digunakan mempengaruhi maturity ASD dan maturity ASD mempengaruhi keberhasilan proyek pengembangan software.

Kata kunci: Agile Software Development (ASD), maturity ASD, keberhasilan proyek, proyek pengembangan software

1. Pendahuluan

Penggunaan metodologi ASD dalam pengembangan *software* dipercaya dapat meningkatkan kualitas produk, pengendalian biaya proyek yang lebih baik, sejalan dengan strategi bisnis organisasi dan dapat memberikan nilai tambah terhadap hasil proyek secara berkala dan berkelanjutan (santos et al, 2011; Senapathia dan Ananth, 2012). Menurut survei *Ambysoft* tahun 2013, proyek-proyek dengan metode ASD memiliki peluang berhasil 64% dibandingkan dengan metode tradisional sebesar 49%. Metodologi yang umumnya digunakan dalam pengembangan software adalah waterfall, namun dengan semakin pendeknya tuntutan siklus pengembangan software dan juga kondisi pasar yang cepat berubah berdampak dalam keberhasilan proyek pengembangan software. Masih tingginya tingkat kegagalan proyek dengan penggunaan metodologi waterfall, membuat praktisi menjalankan proyek dengan pendekatan yang lebih fleksibel dalam proses pengerjaan dan pengelolaan *requirement* (Smith, 2011). Dengan kondisi ini, muncul beberapa pendekatan pengembangan software seperti Extreme Programming, pair programming, Crystal method, scrum yang selanjutya pada tahun 2001 para praktisi ini berkumpul merumuskan *agile manifesto* sebagai prinsip dari metodologi ASD.

ISBN 978-602-73461-8-5

Walaupun keuntungan dari penggunaan metode *agile* cukup signifikan dan telah dibuktikan oleh berbagai penelitian (Rao, 2011; Hossain, 2013; Ahmed; Sidky, 2009; Versionone, 2013; Santos et al, 2011; Ambysoft report, 2014), kompleksitas dalam mengadopsi *agile* sangatlah tinggi karena berdampak pada perubahan budaya organisasi, penolakan untuk berubah dan keterlibatan top manajemen yang tinggi (Dyba dan Dingsoyr, 2008; Echalar, 2013; Gandomani et al, 2013; Chow dan Cao, 2008). Tantangan lainnya yang muncul saat mengadopsi *agile* adalah bahwa *agile* sulit untuk diimplementasikan (48%), menggabungkan bagian dan fungsi non teknis dan teknis dalam melakukan pengembangan (43%), resistensi terhadap perubahan (38%) dan tantangan dalam *engineering* kebutuhan (38%), tidak ada keiinginan untuk berubah (31%) dan kurangnya panduan tertulis untuk menjalankan *agile* (21%) (Dikert, et al., 2016).

Dalam menghadapi tantangan adopsi ASD, untuk memastikan proses adopsi berjalan dengan baik, maka perlu dilakukan evaluasi. Model *maturity* adalah instrumen yang digunakan untuk menilai kemampuan dan inisiasi apa yang dapat dijalankan untuk meningkatkan kematangan suatu elemen – apakah elemen itu manusia, objek, proses atau sistem (Kohlegger et al., 2009). Berbagai model *maturity* telah dikembangkan untuk proses adopsi *agile,* yaitu *Agile Maturity Map* (AMM) (Packlick, 2007), Sidky *Agile Measurement Index* (SAMI) (Sidky et al, 2007), *Agile Adoption and Improvement Model (*AAIM) (Qumer dan Henderson-Seller, 2008) dan *Agile Maturity Model* (AMM) (Patel dan Ramachandran, 2009). Hasil penilaian dari model *maturity* penelitian ini, dapat terlihat tim dengan hasil *maturity* lebih tinggi maka memiliki karakter *agile* yang lebih kuat.

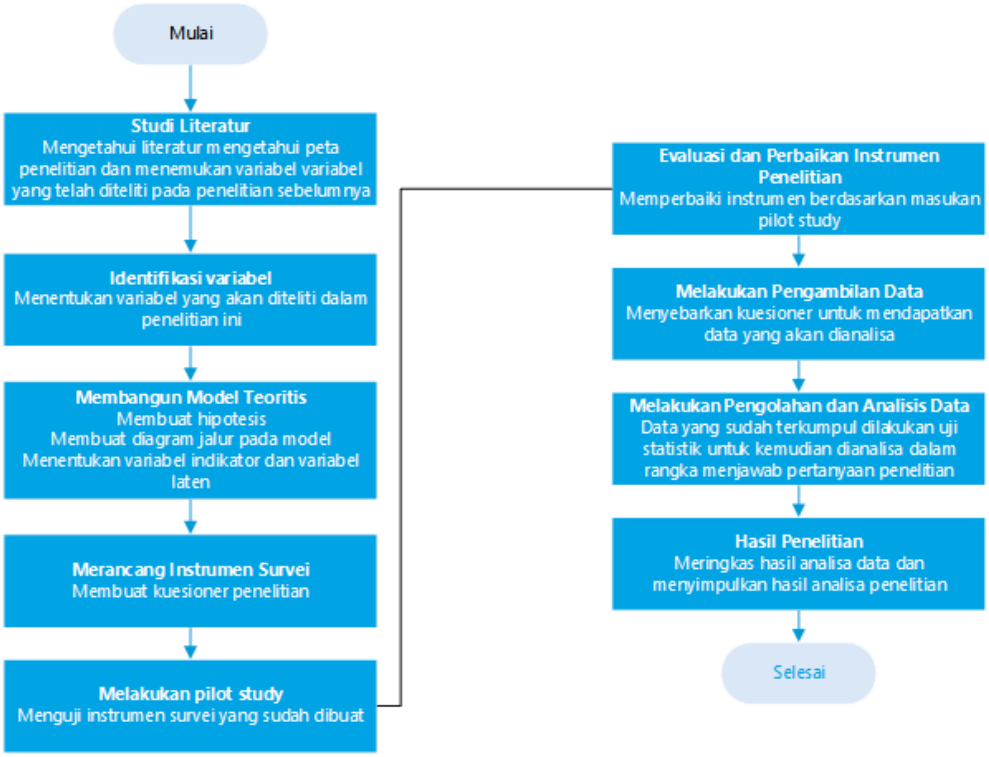
Penelitian ini menggunakan teori IT adopsi Technology Acceptance Model 3 (Venkatesh, 2000) untuk mengetahui lebih lanjut faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat adopsi ASD pada suatu proyek, dimana tingkat adopsi ASD diwakilkan dalam variabel *maturity* ASD. Teori TAM 3 menyatakan bahwa persepsi mudah digunakan (*perceived easy of use*) dan persepsi memberikan manfaat (*perceived usefulness)* pada orang-orang yang sedang dalam proses adopsi teknologi baru, mempengaruhi penggunaan teknologi baru tersebut (Venkatesh, 2000). Seleksi faktor-faktor independent yang diuji dalam penelitian ini dilakukan dengan literatur review dengan menggunakan definisi faktor *percived usefulness* dan *percived easy of use* sebagai dimensi variabel *independent*. Tabel 1 menunjukan hasil literatur review dan pengelompokan faktor-faktor yang di hipotesakan sebagai variabel independent dikelompokan kedalam variabel *perceived usefulness* dan *perceived easy of use.*

Dengan latar belakang yang ada, maka menjadi menarik untuk mengetahui apakah presepsi anggota tim proyek bahwa metodologi ASD mudah digunakan dan bermanfaat mempengaruhi *maturity ASD* anggota tim yang pada akhirnya *matuirty ASD* memiliki pengaruh terhadap keberhasilan proyek.

2. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif dengan alur penelitian seperti tergambar pada Gambar 1.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 1. Alur penelitian

2.1 Studi literatur

Penelitian terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan adopsi ASD sudah banyak dilakukan (T. Chow dan D.-B. Cao, 2008; Misra S.C et al, 2009; Wan et al, 2010; Melo, 2011, Kumar, 2012; Sheffield, 2013; Hummel, 2015; Martin K dan Andreas M, 2015;Arthur A et al, 2017), namun belum banyak yang lebih khusus menguji faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan ASD dimana faktor-faktor ini lebih ditekankan pada penerimaan manusia atau anggota tim dalam proyek ASD. Menurut Highsmith dan Cockburn (2001) "apa yang baru tentang metode *agile* bukanlan praktik penggunaannya, namun lebih diakui atau diprioritaskannya orang sebagai pengendali utama dalam keberhasilan proyek, dilengkapi dengan fokus pada efektifitas dan cara menjalankan *agile*".

Penelitian faktor-faktor kritis penentu keberhasilan ASD dilakukan oleh Tsun Chow, Dac-Buu Cau (2008) dengan menggunakan pendekatan kuantitatif. Penelitian ini mencakup 109 proyek dengan metodologi ASD dari 25 negara diseluruh dunia, dengan menggunakan teknik *multiple regression.* Hasil yang didapatkan, hanya 10 dari 48 hipotesis yang didukung, dan teridentifikasi tiga faktor penentu keberhasilan ASD, yaitu strategi *delivery,* teknik ASD, kemampuan tim, proses manajemen proyek, lingkungan tim dan kolaborasi dengan konsumen (T. Chow dan D.-B. Cao, 2008).

Faktor faktor lain yang teridentifikasi adalah kepuasan konsumen, kolaborasi dengan konsumen, komsumen yang berkomitmen, waktu pengambilan keputusan yang tepat, budaya perusahaan, pengendalian, karakteristik anggota tim, budaya dalam proyek, dan pelatihan dan pembelajaran (Misra et al, 2009). Kesamaan penelitian Misra et al (2009) dengan T. Chow dan D.-B. Cao (2008) adalah pengendalian sama dengan *delivery strategy,* karakteristik anggota tim sama dengan kemampuan tim dan pelatihan dan pembelajaran sama dengan kemampuan tim, memiliki korelasi dengan keberhasilan

ISBN 978-602-73461-8-5

proyek. Penelitian dengan pendekatan kajian literatur menemukan bahwa keterlibatan konsumen, komunikasi, perubahan minumum terhadap spesifikasi, budaya perusahaan, menghasilkan *software* secara berkala dan tepat waktu, ukuran anggota tim, kesederhanaan dalam proses, pengujian produk yang aktif, meninjau ulang koding dan kolaborasi dengan konsumen merupakan faktor yang penting dalam keberhasilan penggunaan metodologi ASD (Z. Mansor Saadiah Yahya dan Noor Habibah Arshad, 2010).

Dalam penelitian sebelumnya, model penelitian melihat faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan proyek ASD secara langsung tanpa menggunakan variabel mediasi apakah faktor-faktor ini mempengaruhi *maturity agile*. Dalam proses adopsi ASD, bagi organisasi tidak cukup hanya mengetahui faktor-faktor apa yang mempengaruhi keberhasilan adopsi ASD. Diperlukan evaluasi dan *continous improvement* untuk mendapatkan manfaat dari ASD. Pendekatan yang paling umum dalam *software process improvement* (SPI) adalah model *maturity* dengan *Capability Maturity Model Integrated* (CMMI) yang paling sering digunakan (Leppänen, 2013). Penelitian sebelumnya menemukan bahwa adopsi ASD yang berhasil biasanya pada lingkungan CMMI yang matang atau level *maturity* yang tinggi (Sutherland et al, 2007). CMMI dengan tingkat kematangan atau level tinggi juga terbukti dapat meningkatkan keberhasilan proyek (Humble & Russel, 2009).

Penelitian untuk mencari tahu bagaimana hubungan peningkatan *maturity* dengan keberhasilan adopsi ASD dan keberhasilan proyek masih menjadi topik yang menarik untuk dilakukan penelitian karena masih belum banyak dilakukan (Gren et al, 2015). Dari kajian literatur yang dilakukan pada penelitian sebelumnya didapatkan bahwa faktor strategi delivery ASD, teknik ASD, komunikasi dan kolaborasi, *agile champion,* transparansi dan keterbukaan, proses manajemen proyek

Tabel 1. Faktor-faktor yang dihipotesis kan mempengaruhi adopsi ASD

No	Level 1	Level 2	Faktor	Penjelasan	Referensi
1	Pandangan bahwa metodologi bermanfaat (*perceived usefulness)*	*Output Quality*	Strategi (*Delivery strategy)* ASD	Menunjukan kemajuan hasil *software* secara berkala, menghasilkan software dengan *feature* yang paling penting terlebih dahulu	Tsun Chow, Dac-Buu Cao, 2008; Subhas C.M et al, 2009
2	Pandangan bahwa metodologi bermanfaat (*perceived usefulness)*	*Result Demonstrability*	Teknik ASD (*Agile software Engineering technique)*	Standarisasi *codding* yang baik sejak awal, menekankan pada rancangan yang sederhana namun berfungsi dengan baik, menggunakan teknik ASD, jumlah dokumentasi yang cukup, uji integrasi yang benar	Tsun Chow, Dac-Buu Cao, 2008; Martin K dan Andreas M, 2015

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Level 1	Level 2	Faktor	Penjelasan	Referensi
3	Pandangan bahwa metodologi bermanfaat (*perceived usefulness)*	*Job relevance*	Komunikasi dan kolaborasi	Komunikasi dan kolaborasi yang sering dengan anggota tim dan *user*	Subhas C.M et al, 2009; Z. Mansor Saadiah Yahya dan Noor Habibah Arshad, 2010; Martin K dan Andreas M, 2015
4	Pandangan bahwa metodologi bermanfaat (*perceived usefulness)*	*Subjective norm*	*Agile champion*	Setidaknya ada satu orang dalam tim yang berperan sebagai *agile champion* yang akan memotivasi dan mendidik tim, yang bukan memberikan perintah tapi membagi visi akan manfaat ASD terhadap proyek	Martin K dan Andreas M, 2015
5	Pandangan bahwa metodologi bermanfaat (*perceived usefulness)*	*Result Demonstrability*	Transparansi dan keterbukaan	Adanya kondisi organisasi dan user terinformasikan dengan baik dan rutin terhadap kemajuan *software* yang dihasilkan, sehingga didapatkan *feedback* yang cepat untuk mengantisipasi ketidaksesuaian dalam mengembangkan *software*	Martin K dan Andreas M, 2015
6	Pandangan bahwa metodologi mudah digunakan (*Perceived easy of use*)	*Objective usability*	Proses manajemen proyek (*Project management process)*	Mengikuti proses manajemen *requirement* yang *agile,* mengikuti proses *agile* manajemen proyek, mengikuti proses *agile* manajemen konfigurasi, menjalankan mekanisme monitoring yang dapat dengan mudah melakukan *tracking* kemajuan proyek, komunikasi yang kuat dengan fokus pada pertemuan	Tsun Chow, Dac-Buu Cao, 2008

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Level 1	Level 2	Faktor	Penjelasan	Referensi
				langsung, memperioritaskan jam kerja sehingga menghindari kerja lembur	
7	Pandangan bahwa metodologi mudah digunakan (*Perceived easy of use*)	*Percived Enjoyment*	Manajemen perubahan	Adanya kesadaran untuk melakukan perubahan, dilakukannya perubahan budaya dan cara kerja dalam tim, adanya komitmen untuk berubah, adanya *business process re-engineering* untuk mencapai hasil *software* yang berkualitas, dilakukan analisa terhadap respon tim sehingga dapat dilakukan pengembangan dan perbaikan dalam program manajemen perubahan	Arthur A, 2017
8	Pandangan bahwa metodologi mudah digunakan (*Perceived easy of use*)	*Perception of external control*	Kemampuan tim (*Team capability)*	Anggota tim dengan kompetensi dan keahlian yang tinggi, anggota tim yang memiliki motivasi yang tinggi, menejer memiliki pengetahuan dalam ASD, tim diberikan pelatihan teknis yang diperlukan untuk meningkatkan kemampuan teknik ASD nya	Tsun Chow, Dac-Buu Cao, 2008; Arthur A, 2017;Subhas C.M et al, 2009
9	Pandangan bahwa metodologi mudah digunakan (*Perceived easy of use*)	*Perception of external control*	Kepemimpinan	Manajer proyek memiliki karakter kepemimpinan, yaitu: 1 – Pempimpin mudah membaur dan didekati dengan *skill* interpersonal yang baik 2 – Pemimpin memiliki pandangan kedepan yang luas dan memiliki	Arthur A, 2017

ISBN 978-602-73461-8-5

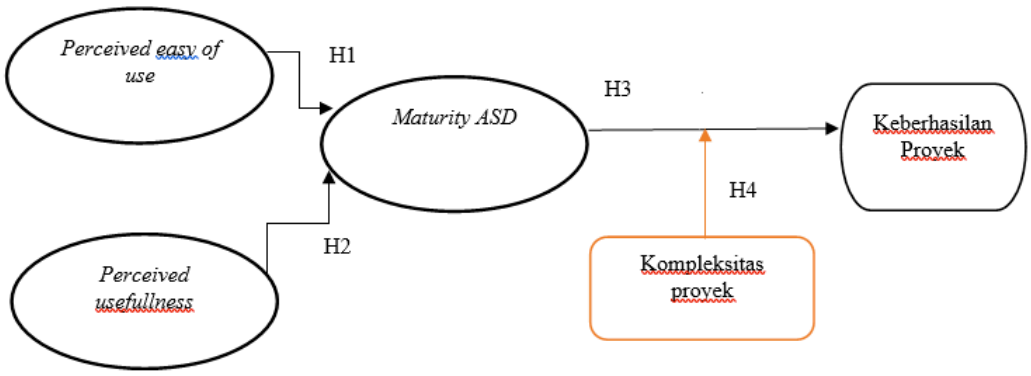
No	Level 1	Level 2	Faktor	Penjelasan	Referensi
				skill konseptual yang baik 3 – Pemimpin memiliki kemampuan teknis dalam menjalankan perannya 4 – Pemimpim yang jujur dan berkomitmen terhadap apa yang dikatakannya	
10	Pandangan bahwa metodologi mudah digunakan (*Perceived easy of use*)	*Perception of external control*	Budaya perusahaan	1 – Fleksibel dan partisipatif, menghargai kerja tim dan mendorong interaksi sosial 2 – Gaya manajemen yang berjalan adalah kepemimpinan dan kolaborasi 3 – Organisasi berdasarkan kesetiaan dan kepercayaan dan komitmen yang terjalin bersama (antar anggota tim dan anggota tim dengan manajemen) 4 – Organisasi menghargai *feedback* atau respon tim dan proses pembelajaran dalam tim 5 – Organisasi mampu *empowerment* orang-orang dalam organisasi dan juga tim proyek	Subhas C.M et al, 2009;Arthur A, 2017; Misra et al. (2009) dan Wan Wang (2010); Martin K dan Andreas M, 2015
11	Pandangan bahwa metodologi mudah digunakan (*Perceived easy of use*)	*Computer Self Efficiacy*	*Craftsmanship*/ Ketrampilan	Sikap dimana seorang developer yang memiliki penghargaan, penghormatan akan bekerja dengan baik dan bersih, berkomunikasi dengan jujur, bertanggung jawab dan berempati dengan user (Robert C.M, 2011). Dengan faktor ini maka developer akan menghasilan software	Martin K dan Andreas M, 2015

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Level 1	Level 2	Faktor	Penjelasan	Referensi
				yang berkualitas memberikan nilai bisnis bagi user	

Model penelitian dibangun berdasarkan teori adopsi *Technology Acceptance Model* 3 (Venkatesh, 2000) . TAM 3, menggambarkan jaringan *nomological* yang lengkap terhadap faktor-faktor penentu individu mengadopsi dan menggunakan IT. Keberhasilan adopsi ASD diwakilkan dalam variabel *maturity* ASD. Model penelitian diperpanjang ke variabel *dependent* keberhasilan proyek, karena tujuan dari penggunaan metodologi dalam proses pengembangan software adalah untuk mencapai keberhasilan proyek. Beberapa model *maturity ASD* dibuat secara teoritis dan literatur belum banyak penelitian yang melihat apakah maturity ASD mempengaruhi keberhasilan proyek (Misra et al., 2008).

Berdasarkan uraian para peneliti kompleksitas proyek mulai tahun 1990 hingga 2012, Bakhshi *et al*., (2016) menyimpulkan bahwa kompleksitas proyek adalah sebagai susunan rumit dari berbagai bagian yang saling terkait di dalam proyek, yang mana tiap bagian dapat berubah dan berkembang terus-menerus yang berdampak pada tujuan proyek. Dengan memahami kompleksitas proyek secara benar, manajer proyek akan lebih mampu merumuskan strategi yang dapat mengurangi kompleksitas dan pada akhirnya menurunkan risiko kegagalan proyek (Maylor & Turner, 2016). Oleh karena itu kompleksitas proyek sebagai variabel moderasi antara variabel *maturity ASD* dengan keberhasilan proyek.



Gambar 2. Model teoritis penelitian

H1 : Faktor persepsi mudah digunakan (*perceived easy of use)* sebagai variabel *independent* yang mempengaruhi *maturity* ASD

H2 : Faktor persepsi bermanfaat (*perceived usefullness)* sebagai variabel *independent* yang mempengaruhi *maturity* ASD

H3: Faktor *maturity ASD* sebagai variabel *independent* yang mempengaruhi keberhasilan proyek pengembangan *software*

H4: Faktor kompleksitas proyek sebagai variabel moderator yang mempengaruhi *maturity ASD* dan keberhasilan proyek pengembangan *software*

ISBN 978-602-73461-8-5

2.2 Olah data

Berdasarkan model penelitian, instrument penelitian yang digunakan adalah kuesioner yang disebarkan kepada para praktisi *software development.* Instrumen sebelum disebarkan kepada para praktisi, dilakukan pilot studi untuk meminimalisir pertanyaan yang bias. Selanjutnya kuesioner disebarkan kepada 30 responden praktisi *software development* sebagai bagian dari uji validitas instrument. Responden adalah manager proyek, anggota tim proyek dan project control yang berpengalaman pada proyek pengembangan *software.* Kuesioner dibagikan kepada 637 praktisi IT, data yang terkumpul sebanyak 140 responden dan setelah di cleansing didapatkan 130 data proyek yang diolah lebih lanjut. 64 % responden berporfesi sebagai konsultan IT, 33 % berprofesi sebagai internal *software development team,* dan 3 % berprofesi sebagai manager IT.

Uji hipotesis menggunakan regresi berganda dikarenakan tujuan penelitian hanya untuk melihat apakah variable *perceived easy of use* (x_1) dan *perceived usefulness* (x_2) pada keberhasilan proyek dengan terdapat variable mediasi parsial dan variable moderasi. Uji asumsi klasik regresi dilakukan untuk melihat reliabilitas dan validitas model penelitian. Hipotesis 1 sampai 3 dilakukan dengan uji linier berganda dengan variable mediasi, hipotesis 4 dengan uji linear dengan variable moderasi, uji prasyarat linear berganda normalitas dengan komogorov smirnov, multikolenearitas dengan VIF, hetero dengen glejser dan autokorelasi dengan durbin Watson. Bila salah satu persyaratan tidak terpenuhi maka data akan diubah dalam bentuk log.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil uji asumsi klasik didapatkan data terdistribusi normal dengan nilai signifikansi 0,138 (P<0,05), uji heterokedastisitas didapatkan nilai P untuk variable *perceived easy of use* (x_1) sebesar 0,110 sedangkan pada variable Persepsi manfaat sebesar 0,068, dengan demikian pada kedua variabel tidak terdapat heterokedastisitas. Uji autokorelasi dilakukan dengan Durbin Watson. Data dinyatakan tidak terdapat autokorelasi bila du < dw < 4-du. Dari hasil analisis didapatkan angka DW (Durbin Watson) sebesar 1,765 sedangkan dari tabel didapatkan nilai du sebesar 1,760 (sehingga berlaku 1,760 < 1,765 < 2,240). Dengan demikian tidak terdapat autokorelasi. Pada uji multikolinearitas dilakukan didapatkan nilai VIP < 10, sehingga disimpulkan tidak terdapat multikolinearitas.

Hasil uji Anova uji F digunakan untuk mengetahui apakah variabel bebas secara bersama-sama berpengaruh pada variabel terikat. Bila P < 0,05 maka hipotesis diterima. Hasil analisis menunjukkan nilai P = 0,000 sehingga disimpulkan bahwa *perceived easy of use* (x_1) dan *perceived usefulness* (x_2) secara bersama-sama berpengaruh pada Maturity ASD. Koefisien determinasi digunakan untuk mengetahui berapa persen pengaruh variabel x_1 dan x_2 pada Maturity ASD. Koefisien determinasi diambilkan dari nilai *adjusted R Square*. Pada analisis didaptkan R square sebesar 0,500. Dengan demikian pengaruh Persepsi mudah dan Persepsi manfaat pada Maturity sebesar 50%. Uji ini menjawab hipotesis 1 dan hipotesis 2.

Uji t dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas *perceived easy of use* (x_1) dan *perceived usefulness* (x_2) secara mandiri terhadap maturity ASD. Uji inilah yang akan digunakan untuk menjawab hipotesis 1 dan 2, bila nilai P < 0,05 maka hipotesis diterima, artinya variabel tersebut berpengaruh pada nilai *maturity*. Pada uji T didapatkan nilai P variabel x_1 adalah 0,000 dan x_2 adalah 0, sehingga dapat disimpulkan menerima hipotesis H_1 dan H_2, yaitu variable *perceived easy of use* (x_1) dan *perceived usefulness* (x_2) mempengaruhi maturity ASD. Maturity ASD dalam penelitian ini mencerminkan seberapa besar prinsip *agility* diterapkan di proyek. Dengan hasil perhitungan yang didapatkan, maka dapat dikatakan bahwa prespsi bahwa metodologi ASD mudah

ISBN 978-602-73461-8-5

digunakan dan membawa manfaat bagi para tim proyek, maka akan mempengaruhi seberapa besar prinsip-prinsip ASD diterapkan oleh tim proyek.

Hasil uji Anova uji F untuk hipotesis 3 hubungan antara *maturity* ASD dengan keberhasilan proyek didapatkan nilai signifikan 0,000 (P < 0,005), dengan koefisien determinasi pengaruh *maturity* terhadap keberhasilan proyek sebesar 45,8 %. Pada uji T didapatkan nilai signifikan sebesar 0,000 (P<0,005), sehingga dapat disimpulkan *maturity* ASD mempengaruhi keberhasilan proyek. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya menyatakan bahwa maturity *Sidky Agile Measurement Index* (SAMI) dapat meningkatkan proses adopsi *agile* (Sidky, 2007). Penelitian lainnya juga didapatkan dengan *maturity model,* dapat membuat adopsi *agile* berjalan lebih sistematis dan mudah untuk menjalankan prosesnya (Cohan and Glazer, 2009).

Hipotesis 4 diuji dengan liner regresi dengan variabel moderasi. Deteksi variabel kompleksitas sebagai variable moderasi dilakukan dengan dua kali uji regresi. Hasil uji T pada kedua analisis regresi tersebutlah yang digunakan untuk mengetahui apakah kompleksitas sebagai moderasi mempengaruhi (memperkuat atau memperlemah) pengaruh *maturity* ASD pada keberhasilan proyek. Tabel 2 menunjukan ringkasan uji hipotesis yang dilakukan.

Pengambilan kesimpulan dilakukan dengan melihat nilai sig. (atau nilai P) pada interaksi Maturity * Struktural. Bila P < 0,05 maka variabel struktural mempengaruhi hubungan *maturity* pada keberhasilan. Sedangkan untuk mengetahui apakah pengaruh itu memperlemah atau memperkuat dapat dilihat pada nilai beta. Bila nilai beta negatif, maka memperlemah dan bila nilai beta positif, maka memperkuat. Berdasarkan analisis didapatkan nilai P sebesar 0,022 dengan nilai beta sebesar -0,002; sehingga disimpulkan kompleksitas berpengaruh memperlemah hubungan antara maturity ASD dan keberhasilan proyek.

Tabel 2. Ringkasan hasil uji hipotesis

Hipotesis	Uji Regresi	Interpretasi
H1	Sig = 0	Menerima H1
H2	Sig = 0	Menerima H2
H3	Sig = 0	Menerima H3
H4	Sig = 0	Menerima H4

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan penelitian ini adalah bahwa *maturity ASD* dipengaruhi oleh persepsi metodologi ASD mudah digunakan (*perceived easy of use)* dan persepsi memberikan manfaat *(perceived usefulness*), *maturity ASD* mempengaruhi keberhasilan proyek dengan variabel kompleksitas proyek mempengaruhi hubungan antara *maturity ASD* dengan keberhasilan proyek. Kompleksitas proyek semakin tinggi, akan memperlemah hubungan *maturity ASD* dengan keberhasilan proyek, dan semakin rendah kompleksitas proyek membuat hubungan *maturity ASD* dengan keberhasilan proyek semakin kuat.

Penelitian ini akan dilanjutkan dengan mempergunakan SEM (Structural Equation Modelling) karena SEM lebih baik digunakan untuk model penelitian yang berfokus pada konstruk-konstruk laten (Kline dan Rex.B, 2001), dimana dalam penelitian ini variabel variable *perceived easy of use (x_1), perceived usefulness (x_2)* dan *maturity* ASD adalah variabel laten.

ISBN 978-602-73461-8-5

Daftar Pustaka

Ahimbisibwe, A., Cavana, R. Y. & Daellenbach, U., 2015. A contingency fit model of critical success factors for software development projects: A co, *Journal of Enterprise Information Management,* 28(1), pp. 7-33.

Arthur, J., 2013. Assessing an organization's capability to effectively implement its selected agile method(s): An objectives, principles, strategies approach. s.l., Agile Conference (AGILE), pp. 22-31.

Azwar, S., 2007. *Metode Penelitian.* Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Chow, T. & Cao, D.-B., 2008. A survey study of critical success factors in agile software projects, *The Journal of Systems and Software,* Vol.(81), p. 961–971.

Cockburn, A., 2001. *Agile Manifesto,* akses online 2 Desember 2017, *URL: www.agilemanifesto.org*

Cockburn, A. & Highsmith, J., 2001. Agile software development: the people factor. *Journal Computer,* 34(11), pp. 131-133.

Cynthia , K. & Bill , C., 2002. Explaining Software Developer Acceptance of Methodologies: A Comparison of Five Theoretical Models, *Journal IEEE TRANSACTIONS ON SOFTWARE ENGINEERING,* 28(12).

Dikert, K., Paasivaara, M. & Lassenius, C., 2016. Challenges and success factors for large-scale agile transformations: A systematic literature review, *The Journal of Systems and Software,* Vol.119, pp. 87-108.

Dingsøyr, T., Nerur, S., Balijepally, V. & Moe, N. B., 2012. A decade of agile methodologies: Towards explaining agile software development, *The Journal of Systems and Software,* Vol.85, p. 1213– 1221.

Evan, T. S., 2009. Understanding Technology Adoption: Theory and Future Directions for Informal Learning, *Journal Review of Educational Research,* 79(2), pp. 625-649.

Fontanaa, R. M. et al., 2014. Processes versus people: How should agile software development maturity be defined, *The Journal of Systems and Software ,* Vol.94, pp. 140-155.

Ghasemi, A. & Zahediasl, S., 2012. Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians, *Int J Endocrinol Metab.,* 10(2), p. 486–489.

Glass, R., 2004. A Look at the Economics of Open Source, *Communications of the ACM,* 47(2), pp. 25-27.

Goldman, S. & Nagel, R., 1993. Management, technology and agility: the emergence of a new era in manufacturing, *International Journal of Technology Management,* I(8), pp. 18-38.

Hardgrave, B., Davis, F. & Riemenschneider, C., 2003. Investigating determinants of software developers' intentions to follow methodologies, *Journal of Management Information Systems ,* I(20), p. 123–151.

Humble, J. & Russel, R., 2009. The agile maturity model applied to building and releasing software, *ThoughtWorks White Paper.*, pp. 3-12.

Ika, L., 2009. Project success as a topic in project management journals, *Project Managemet Journal,* 40(4), pp. 6-19.

Imreh, R. & Raisinghani, M., 2011. Impact of agile software development on quality within information technology organisations, *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Science,* 10(10), pp. 460-475.

Johnson, R., 1999. Applying the technology acceptance model to a systems development methodology*, Proceedings of Americas Conference on Information Systems,* p. 572–573.

Jugdev, K. & Muller, R., 2005. A retrospective look at our evolving understanding of project success, *Project Management Journal ,* 36(4), pp. 923-933.

ISBN 978-602-73461-8-5

Kohlegger, M., Maier, R. & Thalmann, S., 2009, *Understanding maturity models results of a structured content analysis.* s.l., s.n.

Kozar, K., 1989. Adopting systems development methods: an exploratory study. *Journal of Management Information Systems,* 5(4), pp. 73-86.

Kropp, M. & Meier, A., 2015. Agile Success Factors: A qualitative study about what makes agile projects successful*, Journal of Management Information Systems,* Vol.32, pp. 140-155.

Krosnick, J. A. & Presser, S., 2010. Question and Questionnaire Design. Dalam: *Handbook of survey research.* 2nd penyunt. New York: Esmerald Group Publishing, pp. 90-125.

Lai, P., 2017. The Literature Review Of Technology Adoption Models And Theories For The Novelty Technology. *JISTEM - Journal of Information Systems and Technology Management,* 14(1), pp. 21-38.

Kline, Rex.B. (2001). Principles and Practice of Structural Equation Modeling. New York: The Guilford Press.

Venkatesh, V., et al, 2008. A control theory perspective on agile methodology use and changing user requirements. Information Systems Research 20 (3), 377–399.

ISBN 978-602-73461-8-5

Analisis Proses Produksi *Combustion Chamber* Menggunakan Metode *Lean Manufacturing* dengan Pendekatan Simulasi

Evi Febianti, Yusraini Muharni, Adityo Widianto
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten
Jl. Jendral Sudirman, KM. 03. Cilegon-Banten 42435
Email: evi@untirta.ac.id, yusmuharni@gmail.com, adityowidianto12@gmail.com

Intisari

PT XYZ merupakan perusahaan manufaktur yang memproduksi Power Gas Generation. Dengan salah satu jenis produknya adalah Combustion Chamber. Dari hasil pengamatan pada workshop didapatkan permasalahan seperti aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah, diantaranya waktu set up yang terlalu lama, overprocessing, kegiatan yang berulang serta mesin yang sudah tua. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan kategori pemborosan berdasarkan nilai tertinggi pada proses produksi, membandingkan nilai PCE (Process Cyle Efficiency) eksisting dan usulan, merancang model simulasi untuk membandingkan hasil output dari simulasi kondisi eksisting dan usulan, serta menghitung nilai kelayakan model dari skenario usulan. Metode yang digunakan yaitu lean manufacturing dengan melakukan identifikasi dan eliminasi terhadap seven waste, serta memetakannya dengan menggunakan VALSAT. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan persentase pemborosan tertinggi yaitu waiting sebesar 22,14%. Total waktu lead time process saat produksi Combustion Chamber sebesar 576,07 jam. Berdasarkan PCE didapatkan peningkatan produksi dari 72,20% menjadi 78,46%. Usulan perbaikan skenario ketiga menjadi usulan perbaikan yang dipilih untuk mengoptimalkan output dari 29 unit menjadi 36 unit. Dengan nilai kelayakan model dari usulan yang terpilih, yaitu nilai IRR sebesar 8% dengan pengembalian modal investasi selama 1 tahun pada periode keempat dan didapatkan nilai NPV sebesar Rp 4.724.800.841.

Kata kunci: Kelayakan Model, Lean Manufacturing, Pemborosan, Simulasi Sistem

1. Pendahuluan

Setiap perusahaan dituntut untuk dapat bersaing dengan perusahaan lain, salah satunya adalah dengan meningkatkan kualitas produksi yang sesuai dengan keinginan konsumen serta pengiriman produk yang tepat (Alviansyah, 2016). Konsumen menuntut agar suatu produk memiliki kualitas dan kecepatan pemenuhan pesanan yang tinggi. Perusahaan harus responsif terhadap permintaan konsumen tersebut dengan cara mengatur penjadwalan produksi sehingga performansi produksi dapat berjalan produktif, serta dapat memenuhi permintaan dengan tepat.

PT. XYZ adalah sebuah perusahaan yang bergerak dalam bidang manufaktur untuk komponen pembangkit listrik dan pengolahan logam presisi tinggi. Salah satu jenis produknya adalah *Combustion Chamber*. Dalam produksinya terdapat beberapa pemborosan atau aktivitas kerja yang tidak memberikan nilai tambah (*value added*), yaitu pemborosan aktivitas seperti waktu *set up* yang terlalu lama, *overprocessing*, serta kegiatan yang berulang. Saat ini, pengerjaan satu produk CC (*Combustion Chamber*) adalah rata-rata 25 hari berdasarkan data tahun 2010-2017 padahal target yang harus dicapai untuk 1 produk yaitu 23 hari, sehingga masih belum memenuhi target produksi untuk mencapai 35 unit per tahun dan saat ini hanya memenuhi target produksi 29 unit,

ISBN 978-602-73461-8-5

yang tentunya perusahaan masih mengalami kesulitan dalam pemenuhan permintaan produk yang akan dihasilkan.

Dengan permasalahan tersebut, metode terpilih guna mengidentifikasi aktivitas untuk mereduksi atau mengeliminasi *waste* adalah *lean manufacturing*. Menurut (Jakfar, 2014) bahwa *lean manufacturing* merupakan suatu sistem produksi yang menggunakan energi dan pemborosan yang sangat sedikit untuk memenuhi apa yang menjadi keinginan konsumen dengan tepat. Adapun tujuan penelitian adalah sebagai berikut: menentukan kategori pemborosan berdasarkan nilai tertinggi pada proses produksi, mengetahui perbandingan nilai PCE hasil eksisting dan usulan, merancang model simulasi sistem untuk mengetahui hasil output serta menghitung nilai kelayakan model dari skenario usulan.

2. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode penelitian kuantitatif. Pada penelitian ini, tahapan analisis data yaitu melakukan uji keseragaman data dan uji kecukupan data. Uji keseragaman data dilakukan untuk melihat apakah data yang diperoleh sudah segaram, sedangkan uji kecukupan data dilakukan untuk melihat apakah data sampel yang diperoleh telah mewakili populasi. Dalam penelitian ini proses produksi di *workshop* CC (*Combustion Chamber*) PT XYZ dilakukan pengolahan data yang terdiri dari beberapa tahap yaitu:

a. Perhitungan *Lean Manufacturing*

Perhitungan *lean manufacturing* untuk menentukan nilai PCE (*Process Cycle Efficiency* dengan menggunakan *tools* VALSAT (*Value Stream Analysis Tools*). Proses pengerjaan VALSAT yaitu untuk mengetahui *mapping tools* yang sesuai dengan hasil perhitungan skor pemborosan pada aliran proses tersebut. Setelah diketahui *mapping tools* yang sesuai yaitu menggunakan PAM (*Process Activity Mapping*), kemudian diidentifikasikan seluruh aktivitas produksi ke dalam 3 kategori, yaitu *value adding activity* (VA), *non value adding activity* (NVA), dan *necessary non value adding activity* (NNVA). Dengan diketahuinya kategori masing-masing aktivitas maka dapat mengetahui nilai PCE (*Process Cycle Efficiency*) - *current state* sebelum dilakukannya perbaikan. Berikut formula untuk menghitung PCE, (Gaspersz, 2007)

$$\text{PCE} = \frac{Value\ Added\ Time}{Total\ Lead\ Time} \times 100\% \quad \text{.....(1)}$$

Kemudian dilakukan perbaikan dengan simulasi menggunakan *software* ProModel. Perbaikan yang dilakukan yaitu dengan mereduksi aktivitas-aktivitas produksi yang tidak bernilai tambah seperti aktivitas atau kegiatan yang berulang, material yang belum siap untuk diproses, aktivitas *set up* yang cukup memakan waktu, mesin yang sudah tua dan perlu dilakukan pergantian atau penambahan mesin. Usulan perbaikan ini diperoleh dari hasil *brainstorming* dengan 4 orang yang *expert*. Dari hasil simulasi diperoleh *output* hasil rata-rata unit *Combustion Chamber* pada PAM (*Process Activity Mapping*) - *future state* dan PCE (*Process Cycle Efficiency*) - *future state*, sehingga dari hasil yang didapatkan ini nantinya dapat digunakan sebagai perbaikan untuk proses produksi *Combustion Chamber*.

b. Simulasi ProModel

Simulasi mempresentasikan sebuah sistem nyata, maka dari itu pada pengolahan data ini sistem simulasi eksisting yang telah dirancang merepresentasikan sistem nyata yang ada pada lantai produksi *Combustion Chamber*. Sebelum proses validasi

ISBN 978-602-73461-8-5

dilakukan, ada beberapa proses yang dilakukan, yaitu uji replikasi dan uji verifikasi. Proses validasi antara sistem nyata dengan sistem simulasi eksisting ini dilakukan dengan *software* SPSS 22.0 menggunakan uji T – *Independent Sample T-test*. Selanjutnya, menentukan perancangan model simulasi skenario usulan dilakukan sebagai upaya dalam mengusulkan simulasi sebuah sistem untuk mengoptimalkan *output Combustion Chamber*. Setelah skenario usulan perbaikan telah dibuat, maka selanjutnya menentukan usulan perbaikan manakah yang akan dipilih. Tahapan pertama untuk menentukan simulasi usulan perbaikan yang peneliti lakukan yaitu dengan uji ANOVA (*Analysis of Variance*), tahap berikutnya yaitu uji *Least* LSD (*Significant Difference*) karena pada hasil pengujian ANOVA (*Analysis of Variance*) tidak diketahui apakah terdapat perbedaan dan bagaimana perbedaan yang ada. Berikut persamaan untuk menghitung uji replikasi (Harrell, 2000).

$$n = \left[\frac{\left(z_{\frac{\alpha}{2}}\right)s}{e}\right]^2 \quad \text{.....(2)}$$

c. Perhitungan Analisis Kelayakan Model
Perhitungan yang dilakukan pada sebuah proyek, apakah dapat dilaksanakan atau tidak untuk mencapai keberhasilan dengan melihat rancangan anggaran biaya pada proses produksi CC (*Combustion Chamber*) dengan menggunakan beberapa metode, yaitu PP (*Payback Period*), IRR (*Internat Rate of Return)* dan NPV (*Net Present Value*) untuk menghitung tingkat suku bunga yang menyamakan nilai sekarang, apabila perhitungan IRR > dari tingkat suku bunga (*discount factor*) maka proyek tersebut dikatakan layak.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengolahan data, diantaranya yaitu: perhitungan VALSAT (*Value Stream Analysis Tool*), perhitungan PAM (*Process Activity Mapping*), menggambar BPM (*Big Picture Mapping*), merancang model simulasi dan model skenario 1, 2, dan 3 serta melakukan perhitungan analisis kelayakan model. Pada penelitian ini diajukan 3 skenario perbaikan, yaitu:

1. Skenario 1: mengganti bagian mesin *bending* (stasiun *Machinin),* merancang *fix jig* dan *fixture* pada *setup* mesin *machining* dan proses *Assembly*, memindahkan aktivitas QC *Inspection* (NDT & Dimensi) ke stasiun *Cleaning,* mereduksi waktu kegiatan *setup* pada stasiun *Sand Blasting* dengan melakukan pengisian material pasir silika ke tanki pasir dan pengisian angin untuk *compressor,* dan melakukan aktivitas pengisian angin serta pemindahan cat dan cat anti korosi pada *compressor* setelah proses *painting* selesai.
2. Skenario 2 : mengganti mesin *machining*, penambahan jumlah *welder* pada kegiatan di stasiun *Assembly* yang sebelumnya 2 orang menjadi 3 orang, serta penambahan jumlah operator pada kegiatan di stasiun *Painting* dan *Packing* yang sebelumnya 2 orang menjadi 3 orang.
3. Skenerio 3: Skenario 3 ini dilakukan hasil *combine* perbaikan, yaitu antara skenario 1 dan skenario 2.

ISBN 978-602-73461-8-5

3.1 *Waste Workshop*

Langkah pertama yang dilakukan yaitu mengidentifikasi *waste* pada data bobot kuesioner proses produksi *Combustion Chamber*. Berdasarkan perhitungan *waste workshop* didapatkan persentase pemborosan yang terjadi yaitu *waiting* sebesar 22,14%, *transportation* sebesar 16,43%, *overprocessing* sebesar 15%, *defect* sebesar 14,29%, *motion* sebesar 11,43%, *inventory* sebesar 10,71%, dan *overproduction waste* sebesar 10%.

3.2 VALSAT (*Value Stream Analysis Tool*)

Matrix pemilihan *tools* menggunakan VALSAT (Octaviany, 2017). Berdasarkan pembobotan kuisioner VALSAT yang telah dilakukan, maka *tools* yang akan digunakan yaitu PAM (*Process Activity Mapping*). Berdasarkan hasil *Value Stream Analysis Tool* (VALSAT) yang memiliki skor tertinggi adalah PAM (*Process Activity Mapping*) dengan bobot nilai sebesar 224,5, sedangkan SCRM (*Supply Chain Response Matrix*) dengan bobot nilai sebesar 118, DAM (*Demand Amplification Mapping*) dengan bobot nilai sebesar 67,5, QFM (*Quality Filter Mapping*) dengan bobot nilai sebesar 53,75, DPA (*Decission Point Analysis*) dengan bobot nilai sebesar 50,25. PVF (*Production Variety Funnel*) dengan bobot nilai sebesar 34,75, dan PS (*Physical Structure*) dengan bobot nilai sebesar 9.5. Tersaji pada Gambar 1.

Waste / Structure	Skor Rata-rata	*Process Activity Mapping*	*Supply Chain Response Matrix*	*Production Variety Funnel*	*Quality Filter Mapping*	*Demand Amplification Mapping*	*Decision Point Analysis*	*Physical Structure*
Overproduction	3.5	L 3.5	M 10.5		L 3.5	M 10.5	M 10.5	
Waiting	7.75	H 69.75	H 69.75	L 7.75		M 23.25	M 23.25	
Transportation	5.75	H 51.75						L 5.75
Defect	5	L 5			H 45			
Inventory	3.75	M 11.25	H 33.75	M 11.25		H 33.75	M 11.25	L 3.75
Overprocessing	5.25	H 47.25		M 15.75	L 5.25		L 5.25	
Motion	4	H 36	L 4					
Jumlah	**35**	**224.5**	**118**	**34.75**	**53.75**	**67.5**	**50.25**	**9.5**
Peringkat		**1**	**2**	**6**	**4**	**3**	**5**	**7**

Gambar 1. VALSAT (*Value Stream Analysis Tool*)

3.3 PCE (*Process Cycle Efficiency*)

Berdasarkan PAM pada kondisi *current state* tersebut dibuatlah persentase kategori aktivitas pada seluruh kegiatan sehingga hasil PCE (*Process Cycle Efficiency*) yaitu sebesar 72,20%. Setelah itu dibuat BPM (*Big Picture Mapping*) - *current state* tersaji pada Gambar 3.

3.4 Uji data

Uji data yang dilakukan yaitu uji kecukupan data terhadap data-data waktu *sample* dari beberapa aktivitas yang telah diambil. Adapun waktu setiap aktivitas pada uji kecukupan telah mencukupi, dilihat dari N>N' dan tersaji pada Tabel . Setelah data waktu tersebut cukup, lalu selanjutnya dilakukanlah perancangan model simulasi yang diantaranya terdapat model konseptual, asumsi model, dan penentuan distribusi data dengan *stat::fit*.

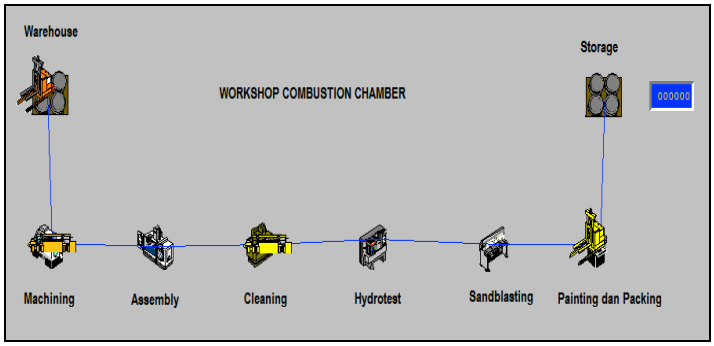
ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 1. Hasil uji kecukupan data

No	Kegiatan	N	N'	Notasi	Cukup (Ya/Tidak)
1	Proses *Machining*	50	1	N'<N	Ya
2	Perpindahan hasil *Machining* ke *Assembly*	50	8.38	N'<N	Ya
3	Proses *Assembly*	50	1.06	N'<N	Ya
4	Perpindahan hasil *Assembly* ke *Cleaning*	50	8.05	N'<N	Ya
5	Proses *Cleaning*	50	2.09	N'<N	Ya
6	Perpindahan hasil *Cleaning* ke *Hydrotest*	50	48.05	N'<N	Ya
7	Proses *Hydrotest*	50	33.74	N'<N	Ya
8	Perpindahan hasil *Hydrotest* ke *Sand Blasting*	50	30.18	N'<N	Ya
9	Prose *Sand Blasting*	50	47.52	N'<N	Ya
10	Perpindahan hasil *Sand Blasting* ke *Painting* dan *Packing*	50	24.64	N'<N	Ya
11	Proses *Painting* dan *Packing*	50	8.99	N'<N	Ya
12	Perpindahan hasil *Painting* dan *Packing* ke *Storage*	50	33.62	N'<N	Ya

3.5 Perancangan model simulasi eksisting

Berikut ini adalah *layout* model simulasi dari alur proses produksi *Combustion Chamber* di PT XYZ tersaji pada Gambar 2.



Gambar 2. *Layout* Model Simulasi Eksisting

3.6 Uji replikasi

Uji replikasi model yang digunakan untuk mengetahui berapa kali pengulangan yang sebenarnya dibutuhkan pada simulasi sistem terhadap suatu model yang telah dirancang. Pada penelitian ini menggunakan replikasi awal sebanyak 8 kali. Berdasarkan perhitungan replikasi, penentuan jumlah replikasi yang dibutuhkan adalah 6 replikasi, sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan jumlah replikasi awal sebanyak 8 replikasi dan sudah mencukupi replikasi minimal yang dibutuhkan.

3.7 Uji verifikasi dan validasi

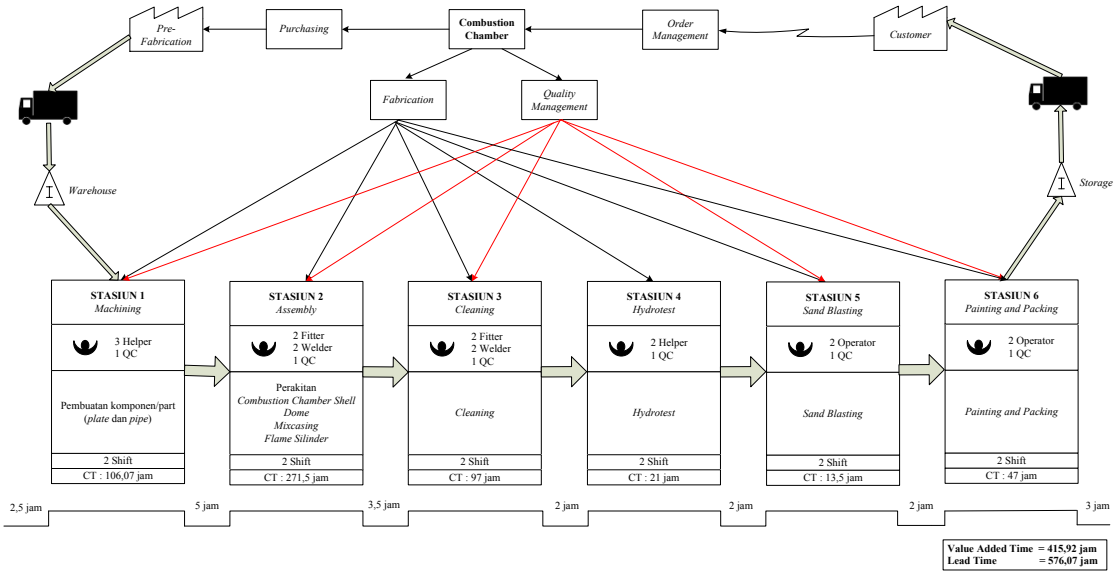
Uji verifikasi model yang dibuat untuk menyesuaikan antara rancangan model *layout* pada *Workshop Combustion Chamber* dengan kondisi nyata. Jika simulasi yang sudah dibuat mengalami *error* tidak saat di *run simulation* maka simulasi tersebut dapat dikatakan sudah berjalan dengan lancar sesuai dengan yang diinginkan, sehingga model simulasi tersebut sudah memenuhi uji verifikasi model. Kemudian setelah melakukan uji

ISBN 978-602-73461-8-5

verifikasi yaitu melakukan uji validasi model dari *output* pada sistem nyata dan data yang dihasilkan dari *output* eksisting pada sistem simulasi dengan menggunakan *software.*

3.8 Uji korelasi 2 rata-rata

Uji korelasi antara 2 sistem yang dimaksudkan untuk mengetahui perbandingan antara hasil *output* dari sistem nyata dengan *output* pada *total exits* simulasi, sehingga nilai untuk ± t_{tabel} (0.025 ; 14) adalah ± 2.145. Dengan ini dapat diketahui bahwa nilai - t $(\frac{\propto}{2};V)$ ≤ t_{hitung} ≤ t $(\frac{\propto}{2};V)$ (-2.145 ≤ 1.439 ≤ 2.145) untuk daerah penerimaan, sehingga kesimpulan yang diambil adalah terima H_0 yang berarti rata-rata *output* dari sistem nyata sama dengan rata-rata *output* dari sistem simulasi. Diketahui bahwa nilai 95% *confidence interval* adalah -0.244 < μ_1 - μ_2 < 1.244 yang berarti nilai interval melewati 0. Maka H_0 diterima dan dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara rata-rata *output* pada sistem nyata dengan rata-rata *output* pada sistem simulasi.



Gambar 3. *Big Picture Mapping Combustion Chamber*

3.9 Perancangan skenario usulan

Perancangan skenario usulan (*future state*) dilakukan untuk memberikan usulan perbaikan sistem nyata pada proses produksi *Combustion Chamber* tanpa harus merubah sistemnya secara langsung, dan dapat dirancang skenario model yang di inginkan pada simulasi sistem dengan menggunakan *software*. Dan yang terpilih adalah skenario 3 dengan rekapitulasi sebagai berikut:

a) Mengganti bagian-bagian mesin *bending,* sehingga waktu *setup bending* tidak perlu dilakukan lagi. Dengan demikian proses produksi tidak terhambat dikarenakan mesin *bending* yang bermasalah dan juga dapat mereduksi waktu produksi selama 2,75 jam dengan mesin *bending* yang optimal.
b) Merancang *fix jig* dan *fixture* pada *setup* mesin *machining* dan proses *Assembly*, dikarenakan permintaan produk 6 tahun terakhir dan 1 tahun kedepan yaitu mempunyai ukuran yang sama maka perancangan *fix jig* dan *fixture* perlu dilakukan agar pada saat produk masuk tidak perlu merakit kembali *custom jig* dan *fixture*. Perbaikan ini berdampak pada pengurangan waktu *setup* mesin *machining* sebesar 8 jam, serta merancang *platform* pada *setup Assembly* yang

ISBN 978-602-73461-8-5

sudah dilakukan di Mulheim-German yang berdampak pada pengurangan waktu *setup Assembly* menjadi 2 jam.

c) Memindahkan aktivitas QC *Inspection* (NDT & Dimensi) ke stasiun *Cleaning*, hal ini dilakukan karena pada proses QC *Inspection* (NDT & Dimensi) di stasiun *Assembly* memakan waktu yang lama, sehingga tidak terjadi pengulangan proses NDT di stasiun *Assembly*, perbaikan ini berdampak pada pengurangan waktu *Final Inspection* (NDT) sebesar 0 jam.
d) Mereduksi waktu kegiatan *setup* pada stasiun *Sand Blasting* dengan melakukan pengisian material pasir silika ke tanki pasir dan pengisian angin untuk *compressor* setelah proses *Sand Blasting* selesai, sehingga pada proses *Sand Blasting* berikutnya operator tidak perlu melakukan kegiatan tersebut. Perbaikan ini dapat mereduksi waktu *setup Sand Blasting* sebesar 3 jam.
e) Melakukan aktivitas pengisian angin serta pemindahan cat dan cat anti korosi pada *compressor* setelah proses *Painting* selesai sehingga operator tidak perlu melakukan pengisian angin dan pemindahan cat dan cat anti korosi pada *compressor* untuk proses *painting* berikutnya, serta melakukan aktivitas pada proses pemilihan dan pemotongan kayu serta pembukaan dan pemotongan plastik pada divisi pre-fabrikasi bukan pada *Combustion Chamber*. Dengan demikian proses *setup Painting* dapat berkurang sebesar 3 jam, dan dengan pemindahan aktivitas kepada divisi pre-fabrikasi tersebut berdampak hilangnya aktivitas pemilihan dan pemotongan kayu serta pembukaan dan pemotongan plastik sebesar 4 jam.
f) Mengganti mesin *machining* pada stasiun *Machining* yang sudah ada dengan mesin yang sudah termoderenisasi dan terotomasi, mesin *machining* yang ada saat ini sudah tidak layak sehingga waktu *warmup* yang terlalu lama dan masa waktu mesin yang mengakibatkan mesin diganti. Dengan mengganti mesin *machining* yang lebih mutakhir tentu berdampak adanya pengurangan waktu *warm up* mesin *machining* sebesar 0,5 jam . Setelah mengganti mesin, yang semula proses produksi selama 18 jam menjadi 9 jam. Hal ini didasarkan pada mesin *machining* yang sudah di gunakan di Mulheim-Jerman berdasarkan keterangan *expert*.
g) Penambahan jumlah *welder* pada kegiatan di stasiun *Assembly* yang sebelumnya 2 orang menjadi 3 orang, dikarenakan proses waktu yang diperlukan dalam proses *Assembly* masih terbilang cukup lama yaitu 105,5 jam, dengan adanya penambahan 1 *welder* berdampak pada proses *Assembly* menjadi 70,33 jam sehingga dapat mempercepat proses *Assembly*.
h) Penambahan jumlah operator pada kegiatan di stasiun *Painting* dan *Packing* yang sebelumnya 2 orang menjadi 3 orang, disebabkan proses waktu yang diperlukan dalam proses *Painting* dan *Packing* masih terbilang cukup lama yaitu 35 jam, dengan adanya penambahan 1 operator berdampak pada proses *Painting* dan *Packing* menjadi 23,3 jam sehingga dapat mempercepat proses *Painting* dan *Packing*.

3.10 Perbandingan hasil simulasi

Berikut ini adalah hasil tabel yang berisikan *output* produk CC (*Combustion Chamber*) pada kondisi sistem nyata serta usulan perbaikan skenario 1, skenario 2 dan skenario 3.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 2. Perbandingan *output* produk *combustion chamber*

Rep	Sistem Simulasi (Unit)	Sk. 1 (Unit)	Sk. 2 (Unit)	Sk. 3 (Unit)
1	30	33	32	36
2	29	33	32	36
3	30	33	26	36
4	29	33	32	36
5	30	34	32	36
6	29	33	32	36
7	29	34	32	34
8	29	34	32	33
Ave	29,38	33,38	31,25	35,38
S	0,518	0,518	2,121	1,188

3.11 Uji Anova dan LSD

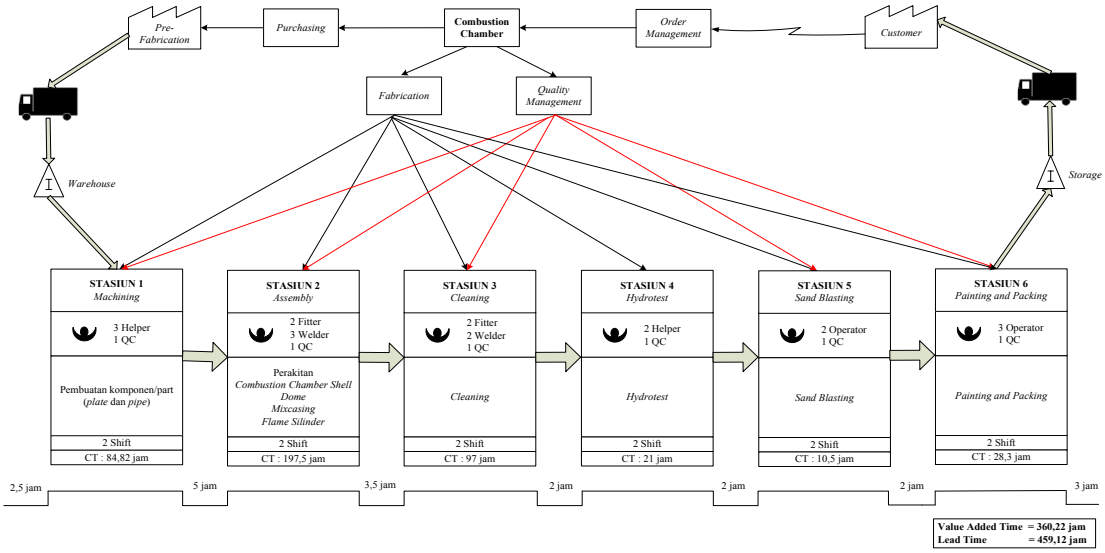
Uji ANOVA (*Analysis of Variance*) untuk menguji apakah *output* produk memiliki rata-rata yang sama atau tidak. Keputusan: F_{hitung} (33,526) > F_{tabel} (2,95) maka H_0 ditolak, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antar sistem simulasi dan model usulan perbaikan produk *Combustion Chamber*.

Uji LSD (*Least Significant Difference*) yang digunakan untuk mengetahui apa saja yang berbeda dan bagaimana perbedaan yang ada pada setiap model dengan bantuan *software*. Setelah dilakukan analisa perbandingan LSD maka didapatkan perbandingan antara eksisting, usulan 1, usulan 2 dan sulan 3 sehingga pada hasilnya terdapat perbedaan diantara ketiga usulan model tersebut. Dari test tersebut dihasilkan pilihan pertama adalah usulan 3, usulan 1, usulan 2 dan eksisting.

3.12 PCE (*Process Cycle Efficiency*) – *Future State*

Dari hasil PAM didapatkan PCE - *future state* sebesar 78,46% terdapat peningkatan dari PCE - *current state* yang sebelumnya sebesar 72,20%, dari hasil PCE tersebut selisih peningkatan yang didapat sebesar 6,26%. Setelah melakukan perhitungan PAM selanjutnya dilakukan perancangan BPM - *future state*.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 4. *Big Picture Mapping Combustion Chamber – Future State*

3.13 Rekapitulasi hasil usulan perbaikan

Pada kondisi sistem simulasi dengan rata-rata *output* sebesar 29,38 ≈ 29 unit ternyata mengalami peningkatan dari hasil simulasi pada usulan terbaik yakni pada usulan 3 dengan rata-rata *output* sebesar 35.38 ≈ 35 unit dari 1 tahun proses produksi *Combustion Chamber*. Maka setelah disimulasikan dengan usulan terbaik yang dipilih setelah mengalami minimasi pemborosan atau kegiatan yang tidak memiliki nilai tambah pada aktivitas-aktivitas di *Workshop Combustion Chamber* ternyata dapat meningkatkan 6 unit produk *Combustion Chamber*.

3.14 Analisis kelayakan model usaha perbaikan

Analisis kelayakan model digunakan untuk melihat apakah usaha yang akan dijalankan dapat memberikan keuntungan atau tidak dan layak secara ekonomi. Adapun analisa kelayakan model dapat menggunakan beberapa metode, antara lain IRR (*Internal Rate of Return*), PP (*Payback Period*) dan NPV (*Net Present Value*).

a. Perhitungan IRR (*Internal Rate of Return*)

IRR (*Internal Rate of Return*) digunakan untuk menghitung tingkat suku bunga yang menyamakan nilai sekarang investasi dengan menggunakan nilai sekarang, apabila perhitungan IRR > dari tingkat suku bunga (*discount factor*) MAAR maka usaha tersebut dikatakan layak. Nilai MARR (tingkat suku bunga) berdasarkan data dari Bank Indonesia tanggal 17 Mei 2018 adalah sebesar 4,50%. Diperoleh nilai IRR pada periode ke-4 sebesar 8% > 4,50% maka usaha dapat dikatakan layak, dikarenakan nilai IRR > MARR (tingkat suku bunga).

b. Perhitungan PP (*Payback Period*)

PP (*Payback Period*) merupakan metode yang digunakan untuk mengukur kecepatan pengembalian modal investasi yang dinyatakan dalam tahunan. Diperoleh nilai *payback period* sebesar 4. Hal tersebut berarti kecepatan dalam pengembalian modal investasi adalah selama 4 periode.

c. Perhitungan NPV (*Net Present Value*)

NPV (*Net Present Value*) merupakan selisih antara pengeluaran dan pemasukan yang telah didiskon dengan menggunakan *social opportunity cost of capital* sebagai diskon faktor. Bahwa usulan perbaikan pada usulan skenario 3 dapat

ISBN 978-602-73461-8-5

dikatakan layak, hal tersebut dikarenakan nilai NPV > 0, yaitu Rp 4.724.800.841 > Rp 0.

Tabel 3. Perhitungan IRR (*Internal Rate of Return*)

Periode	Pengeluaran (Rp)	Pendapatan (Rp)	*Cash Flow* (Rp)	*Cumulative Cash Flow* (Rp)	IRR (%)
0	5.201.778.000	0	5.201.778.000	-5.201.778.000	-
1	3.281.778.000	4.860.000.000	1.578.222.000	-3.623.556.000	-
2	3.281.778.000	4.860.000.000	1.578.222.000	- 2.045.334.000	-28
3	3.281.778.000	4.860.000.000	1.578.222.000	467.112.000	-5
4	3.281.778.000	4.860.000.000	1.578.222.000	1.111.110.000	8
5	3.281.778.000	4.860.000.000	1.578.222.000	2.689.332.000	16
6	3.281.778.000	4.860.000.000	1.578.222.000	4.267.554.000	20
7	3.281.778.000	4.590.000.000	1.308.222.000	5.575.776.000	23
8	3.281.778.000	4.455.000.000	1.173.222.000	6.748.998.000	24

Tabel 4. Perhitungan NPV (*Net Present Value*)

Periode	*Cash Flow* (Rp)	MARR	*NPV* (Rp)
0	-5.201.778.000	0.045	- 5.201.778.000
1	1.578.222.000	0.045	1.510.260.287
2	1.578.222.000	0.045	1.445.225.155
3	1.578.222.000	0.045	1.382.990.579
4	1.578.222.000	0.045	1.323.435.961
5	1.578.222.000	0.045	1.266.445.896
6	1.578.222.000	0.045	1.211.909.948
7	1.308.222.000	0.045	961.318.755
8	1.173.222.000	0.045	824.992.261
Total			4.724.800.841

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan *waste workshop* didapatkan nilai persentase dari proses produksi *Combustion Chamber* di PT. XYZ yaitu *waiting* sebesar 22,14%.
2. Perbandingan besarnya waktu VA (*Value Added*) pada kondisi *current state* yaitu 415,92 jam dengan persentase waktu sebesar 72,20% dan kondisi *future state* yaitu 360.22 jam dengan persentase waktu sebesar 78,46%. Nilai PCE (*Process Cycle Efficiency*) pada proses produksi *Combustion Chamber* mengalami peningkatan sebesar 6,26%.
3. Perbandingan hasil rata-rata *output* dari hasil rancangan kondisi sistem simulasi dengan rata-rata *output* sebesar 29.38 ≈ 29 unit ternyata mengalami peningkatan dari hasil simulasi pada usulan terbaik yakni pada usulan 3 dengan rata-rata *output* sebesar 35,38 ≈ 35 unit dari 1 tahun proses produksi *Combustion Chamber*. Maka setelah disimulasikan dengan usulan terbaik yang dipilih ternyata dapat meningkatkan 6 unit produk *Combustion Chamber*.
4. Berdasarkan hasil perhitungan nilai MARR data dari Bank Indonesia tanggal 17 Mei 2018 adalah sebesar 4,50%. Diperoleh nilai IRR pada periode ke-4 sebesar 8% >

ISBN 978-602-73461-8-5

4.50% maka usaha dapat dikatakan layak, diperoleh nilai *payback period* sebesar 4 tahun. Hal tersebut berarti kecepatan dalam pengembalian modal investasi adalah selama 4 periode dan didapatkan hasil nilai NPV sebesar Rp4.724.800.841 dikatakan layak karena lebih dari 0.

Daftar Pustaka

Alviansyah, I. 2016. *Tugas Akhir. Analisis Menggunakan Metode Lean Manufacturing pada Proses Produksi Module Condensor dengan Pendekatan Simulasi di PT. Siemens Indonesia Cilegon – Factory.* Cilegon: Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Gaspersz, V. 2007. *Lean Six Sigma for Manufacturing and Service Industries*. PT Gramedia Pustaka Utama : Jakarta.

Harrell, C. 2000. *Simulation Using ProModel 2nd Edition*. New York: McGraw-Hill.

Hines, P & Taylor, D. 2000. *Going Lean: A Guide to Implementation*. *Lean Enterprise Research Centre* Cardiff *Business School*: Cardiff, UK.

Jakfar, A. 2014. *Tugas Akhir. Pengurangan Waste Menggunakan Pendekatan Lean Manufacturing. Malang*: Jurusan Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Malang.

Octaviany, I. Nissa., Yanuar, A. Alex., dan Rendra, M. 2017. *Penerapan Lean Manufacturing Untuk Meminimasi Waste Waiting Pada Proses Produksi Hanger Sample Di CV. ABC Offset.* Jurnal Rekayasa Sistem & Industri. Volume 4, Nomor 1.

Parama, T. W. 2014. *Analisa Kelayakan Finansial Pengembangan Usaha Produksi Komoditas Lokal: Mie Berbasis Jagung*. Subang. Balai Besar Pengembangan Teknologi Tepat Guna, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

ISBN 978-602-73461-8-5

Penggunaan Konsep FMEA (*Failure Mode Effect And Analysis*) dalam Pencegahan Kerusakan Mesin pada Pabrik Karet PT. Bakrie Sumatera *Plantations* (BSP) Kisaran

Farida Ariani, Khawarita Siregar, Khalida Syahputri, Mangara M Tambunan, Kiswanto Marino Sihombing
Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik , Universitas Sumatera Utara
Padang Bulan Medan, Sumatera Utara
Email: khawaritasiregar@yahoo.co.id

Intisari

Tulisan ini membahas penggunaan sebuah konsep analisis kegagalan pada produk ataupun proses yaitu konsep FMEA (failure mode effect and analysis). Penelitian ini bertujuan untuk melakukan suatu perbaikan yang lebih efektif dan efisien. Jenis penelitian dengan kategori seperti ini disebut sebagai deskriptif research. Tujuan dari penggunaan konsep FMEA (failure mode effect and analysis) untuk mengetahui dan mengidentifikasi faktor- faktor penyebab kegagalan- kegagalan pada mesin produksi di pabrik karet PT. Bakrie Sumatera Plantations (BSP) Kisaran. Pabrik karet PT. Bakrie Sumatera Plantations (BSP) Kisaran merupakan perusahaan yang bergerak di bidang usaha perkebunan dan pengolahan karet. Pabrik ini mengolah karet dari bahan baku berupa lateks, getah mangkok (cup lump), lateks yang dibekukan (coagulum) dan getah tarik (tree lace) menjadi barang setengah jadi sebagai bahan baku industri ban, sepatu, peralatan medis dan lain sebagainya. Pabrik Karet PT. Bakrie Sumatera Plantations (BSP) Kisaran merupakan perusahaan yang banyak menggunakan mesin dan peralatan sebagai kegiatan proses produksi. Masalah - masalah yang akan timbul dari faktor produksi ini merupakan hambatan yang sangat berpengaruh kelancaran pencapaian tujuan perusa haan. Oleh karena itu kondisi - kondisi mesin dan peralatan harus terjaga dan terpelihara dengan baik. Akibat dari seringnya mesin mengalami kerusakan maka menghambat jalannya proses produksi yang berdampak pada penurunan kapasitas produksi dan secara tidak langsung efisiensi dan produktivitas prerusahaan akan menurun. Selain itu, pabrik tidak dapat melanjutkan proses produksi dan menyebabkan pesanan yang diterima tidak dapat dipenuhi dan mengalami keterlambatan pengiriman ataupun kerugian yang lebih besar seperti hilangnya kepercayaan dari pelanggan, biaya-biaya penalti akibat keterlambatan dan lain sebagainya. Untuk mengatasi hal tersebut, maka digunakan konsep Failure Mode Effect Analysis (FMEA) untuk menganalisis mesin dan komponen-komponennya yang sering mengalami kerusakan.

Kata kunci: FMEA (failure mode effect and analysis), cause and effect diagram, maintenance, kisaran

1. Pendahuluan

Suatu perusahan industri yang telah maju, banyak dipengaruhi oleh faktor produksi mesin dan peralatan yang sangat penting peranannya. Hal ini karena selain faktor produksi yang selalu terlihat secara langsung dalam kegiatan proses produksi juga memiliki jumlah yang cukup besar dari pada faktor proses produksi yang lainnya. Oleh karena itu syarat proses penggunaanya perlu juga dijaga dan dipelihara dengan baik. Pemeliharaan mesin dan peralatan secara rutin dan teratur dalam proses produksi

ISBN 978-602-73461-8-5

sehingga pada saat mesin dan peralatan tersebut akan digunakan tidak akan mengalami kemacetan atau hambatan -hambatan yang dapat mempengaruhi kelancaran proses produksi.

Pabrik Karet PT. Bakrie Sumatera *Plantations* (BSP) Kisaran merupakan perusahaan yang banyak menggunakan mesin dan peralatan sebagai kegiatan proses produksi. Masalah - masalah yang akan timbul dari faktor produksi ini merupakan hambatan yang sangat berpengaruh kelancaran pencapaian tujuan perusahaan. Oleh karena itu kondisi - kondisi mesin dan peralatan harus terjaga dan terpelihara dengan baik.

Akibat dari seringnya mesin mengalami kerusakan maka menghambat jalannya proses produksi yang berdampak pada penurunan kapasitas produksi dan secara tidak langsung efisiensi dan produktivitas prerusahaan akan menurun. Selain itu, pabrik tidak dapat melanjutkan proses produksi dan menyebabkan pesanan yang diterima tidak dapat dipenuhi dan mengalami keterlambatan pengiriman ataupun kerugian yang lebih besar seperti hilangnya kepercayaan dari pelanggan, biaya-biaya penalti akibat keterlambatan dan lain sebagainya. Untuk mengatasi hal tersebut, maka digunakan konsep Failure Mode Effect Analysis (FMEA) untuk menganalisis mesin dan komponen-komponennya yang sering mengalami kerusakan.

Permasalahan analisis mesin menggunakan FMEA telah banyak dilakukan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Nia, dkk (2014) melakukan penelitian dengan mengidentifikasi resiko kerusakan pada alat tenun pada perusahaan sarung tenun. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa moda kegagalan yang menyebabkan cacat produk dengan menggunakan metode FMEA, mendapatkan resiko kegagalan proses produksi terbesar dalam nilai RPN (Risk Priority Number), memberikan usulan perbaikan untuk produksi selanjutnya. Berdasarkan pengolahan dengan metode FMEA dapat mengidentifikasi moda kegagalan yang terjadi pada proses pembuatan sarung tenun. Moda kegagalan potensial pada proses pembuatan sarung tenun dengan alat tenun mesin (ATM) pada PT. Asaputex Jaya terdiri dari 14 jenis kegagalan.

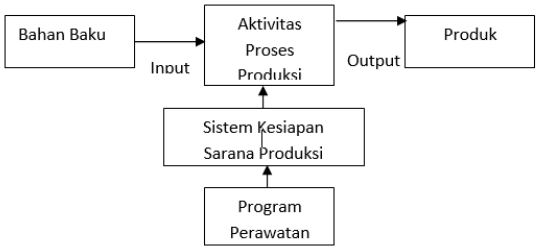
1.1. Tinjauan pustaka

1.1.1. Perawatan (*maintenance*)

Perawatan di suatu industri merupakan salah satu faktor yang penting dalam mendukung suatu proses produksi yang mempunyai daya saing di pasaran. Produk yang dibuat industri harus mempunyai hal-hal berikut:

1. Kualitas baik
2. Harga pantas
3. Diproduksi dan diserahkan ke konsumen dalam waktu yang cepat.

Oleh karena itu proses produksi harus didukung oleh peralatan yang siap bekerja setiap saat dan handal. Untuk mencapai hal itu maka peralatan-peralatan penunjang proses produksi ini harus selalu dilakukan perawatan yang teratur dan terencana. Secara skematik, program perawatan di dalam suatu industri bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skematik program perawatan

ISBN 978-602-73461-8-5

Pemeliharaan mesin merupakan hal yang sering dipermasalahkan antara bagian pemeliharaan dan bagian produksi. karena bagian pemeliharaan dianggap yang memboroskan biaya, sedang bagian produksi merasa yang merusakkan tetapi juga yang membuat uang (Soemarno, 2008). Pada umumnya sebuah produk yang dihasilkan oleh manusia, tidak ada yang tidak mungkin rusak, tetapi usia penggunaannya dapat diperpanjang dengan melakukan perbaikan yang dikenal dengan pemeliharaan. (Corder, Antony, K. Hadi, 1992). Oleh karena itu, sangat dibutuhkan kegiatan pemeliharaan yang meliputi kegiatan pemeliharaan dan perawatan mesin yang digunakan dalam proses produksi.

Kata pemeliharaan diambil dari bahasa yunani *terein* artinya merawat, menjaga dan memelihara. Pemeliharaan adalah suatu kobinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam, atau memperbaikinya sampai suatu kondisi yang bisa diterima. Untuk Pengertian Pemeliharaan lebih jelas adalah tindakan merawat mesin atau peralatan pabrik dengan memperbaharui umur masa pakai dan kegagalan/kerusakan mesin. (Setiawan ED, 2008).

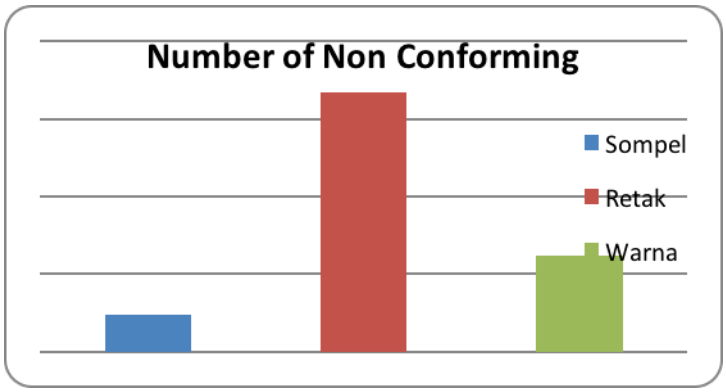
Secara umum, ditinjau dari saat pelaksanaan Pekerjaan pemeliharaan dikategorikan dalam dua cara, yaitu:

1. Pemeliharaan terencana *(planned maintenance)*
   Pemeliharaan terencana adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terorginisir untuk mengantisipasi kerusakan peralatan di waktu yang akan datang, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan sebelumnya. Menurut Corder, Antony, K. Hadi, (1992) Pemeliharaan terencana dibagi menjadi dua aktivitas utama yaitu:
   a. Pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*)
      pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) adalah inspeksi periodik untuk mendeteksi kondisi yang mungkin menyebabkan produksi terhenti atau berkurangnya fungsi mesin dikombinasikan dengan pemeliharaan untuk menghilangkan, mengendalikan, kondisi tersebut dan mengembalikan mesin ke kondisi semula atau dengan kata lain deteksi dan penanganan diri kondisi abnormal mesin sebelum kondisi tersebut menyebabkan cacat atau kerugian.
   b. pemeliharaan korektif *(corrective maintenance)*
      Pemeliharaan secara korektif *(corrective maintenance)* adalah pemeliharaan yang dilakukan secara berulang atau pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian (termasuk penyetelan dan reparasi) yang telah terhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa diterima. (Corder, Antony, K. Hadi, 1992).
2. Pemeliharaan tak terencana *(unplanned maintenance)*
   Pemeliharaan tak terencana adalah pemeliharaan darurat, yang didefenisikan sebagai pemeliharaan dimana perlu segera dilaksanakan tindakan untuk mencegah akibat yang serius, misalnya hilangnya produksi, kerusakan besar pada peralatan, atau untuk keselamatan kerja. (Corder, Antony, K. Hadi, 1992). Pada uraumya sistem pemeliharaan merupakan metode tak terencana, dimana peralatan yang digunakan dibiarkan atau tanpa disengaja rusak.

1.1.2. *Histogram* (diagram batang)

Histogram adalah salah satu metode statistik untuk mengatur data sehingga dapat dianalisis dan diketahui distribusinya. *Histogram* merupakan tipe grafik batang dimana sejumlah data dikelompokkan ke dalam beberapa kelas dengan interval tertentu. Setelah jumlah data dalam setiap kelas (frekuensi) diketahui, maka dapat dibuat *histogram* dari data tersebut. Dari *Histogram* ini dapat terlihat gambaran penyebaran data apakah sesuai dengan yang diharapkan atau tidak.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 2. *Histogram*

1.1.3. *Pareto diagram*

Diagram *Pareto* merupakan metode standar dalam pengendalian mutu untuk mendapatkan hasil maksimal atau memilih masalah-masalah utama dan lagi pula dianggap sebagai suatu pendekatan sederhana yang dapat dipahami oleh pekerja tidak terlalu terdidik, serta sebagai perangkat pemecahan dalam bidang yang cukup kompleks. Hal ini dapat membantu menemukan permasalahan yang terpenting untuk segera diselesaikan (ranking tertinggi) sampai dengan yang tidak harus segera diselesaikan (ranking terendah). Selain itu, Diagram *Pareto* juga dapat digunakan untuk membandingkan kondisi proses, misalnya ketidaksesuaian proses, sebelum dan setelah diambil tindakan perbaikan terhadap proses.

Diagram *Pareto* dibuat berdasarkan data statistik dan prinsip bahwa 20% penyebab bertanggungjawab terhadap 80% masalah yang muncul atau sebaliknya. Kedua aksioma tersebut menegaskan bahwa lebih mudah mengurangi bagian lajur yang terletak di bagian kiri diagram *Pareto* daripada mencoba untuk menghilangkan secara sistematik lajur yang terletak di sebelah kanan diagram. Hal ini dapat diartikan bahwa diagram *Pareto* dapat menghasilkan sedikit sebab penting untuk meningkatkan mutu produk atau jasa. Keberhasilan penggunaan diagram *Pareto* sangat ditentukan oleh partisipasi personel terhadap situasi yang diamati, dampak keuangan yang terlihat pada proses perbaikan situasi dan penetapan tujuan secara tepat.

1.1.4. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Failure Mode Effect Analysis ***(FMEA)*** merupakan suatu teknik analisis mengkombinasikan teknologi dengan pengalaman dalam mengindentifikasikan kemungkinan penyebab kegagalan ataupun kerusakan Proses produksi atau produk yang dapat dilihat dan bertujuan untuk mengeliminasikan ataupun meminimalkan kegagalan tersebut.

Failure Mode Effect Analysis (FMEA) terbagi atas beberapa tipe diantaranya adalah desain FMEA, proses FMEA, peralatan ataupun alat bantu FMEA, pemeliharaan FMEA, pelayanan FMEA, sistem FMEA, lingkungan FMEA dan lain sebagainya.

1.1.4.1. Dasar FMEA

FMEA merupakan salah satu alat dari *Six Sigma* untuk mengidentifikasi sumber-sumber atau penyebab dari suatu masalah kualitas. Menurut Chrysler (1995), FMEA dapat dilakukan dengan cara:

1. Mengenali dan mengevaluasi kegagalan potensi suatu produk dan efeknya.
2. Mengidentifikasi tindakan yang bisa menghilangkan atau mengurangi kesempatan dari kegagalan potensi terjadi.
3. Pencatatan proses *(document the process).*

ISBN 978-602-73461-8-5

1.1.4.2. Penggunaan FMEA

FMEA dapat diterapakan dalam semua bidang, baik manufaktur maupun jasa, juga pada semua jenis produk. Namun penggunaan FMEA akan lebih efektif apabila diterapkan pada produk atau proses-proses baru, atau produk dan proses sekarang yang akan mengalami perubahan-perubahan besar dalam desain sehingga dapat mempengaruhi keandalan dari produk dan proses itu.

1.1.4.3. Aplikasi FMEA

Adapun tiga aplikasi dasar dimana proses FMEA dapat diaplikasikan diantara lain adalah sebagai berikut:

1. Desain yang baru, teknologi baru ataupun proses baru Scope dari FMEA merupakan keseluruhan dari desain, teknologi dan proses.
2. Modifikasi dari desain ataupun proses yang sudah ada sebelumnya Scope dari FMEA seharusnya focus pada modifikasi desain ataupun proses dan interaksi yang berhubungan dalam modifikasi tersebut dan juga regulasi yang diperlukan.
3. Menggunakan desain ataupun proses yang sama dalam lingkungan yang baru, lokasi yang baru dan lain sebagainya. *Scope* dari FMEA harus focus terhadap akibat ataupun dampak dari lingkungan yang baru, lokasi dan pengaplikasian dari penggunaan desain ataupun proses yang sebelumnya. Mengurangi banyaknya kegagalan produk yang dialami oleh pelanggan sehingga akan meningkatkan kepuasan pelanggan

1.1.4.4. Langkah-langkah penyusunan FMEA

Adapun langkah-langkah penyusunan FMEA dalam pendekatan DMAIC adalah mengisi setiap form FMEA dari *six sigma* yaitu sebagai berikut:

1. Isi nomor FMEA, jenis barang, proses, batas tanggal FMEA, tanggal FMEA yang disusun beserta tanggan revisi terakhir, dan nama-nama tim yang ikut bertanggung jawab dalam menyusun FMEA
2. Memasukan nama permintaan *(requirement)* yang akan dianalisa, jenis mode kegagalan potensial *(potential failure mode)* didefinisikan sebagai proses gagal secara potensial dalam memenuhi permintaan, efek yang akan ditimbulkan dari mode kegagalan potensial tersebut *(potential effect (s) of faulire)*
3. Masukan nilai *Severity* (S) yang merupakan suatu penilaian dari seberapa serius efek yang ditimbulkan dari mode kegagalan potensial terhadap pelanggan. *Severity* menggunakan skala 1 sampai 10 yang artinya makin kecil nilai skala maka makin baik *(smaller is better)*. Skala penilaian *Severity* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Skala penilaian *severity*

Rating	*Degree*	*Effect on End User*	*Effect on Next Process and Local Process*
1	*Minor*	Masih menerima	Tidak ada *effect*
2	*Low*	Sedikit kurang puas	Produk memerlukan *rework* tanpa scrap, ditemukan pada bagian proses itu
3	*Low*	Kurang puas	Produk memerlukan rework tanpa scrap ditemukan pada bagian proses lain
4	*Moderate*	Tidak puas	Produk tanpa scrap dan kurang dari 100% memerlukan rework
5	*Moderate*	Tidak puas	100% produk dapat memerlukan *rework repair* yang cukup banyak
6	*Moderate*	Tidak puas	Kurang dari 100% produk scrap tanpa disortir atau waktu perbaikan kurang dari ½ jam
7	*High*	Tidak percaya (mungkin	Mengakibatkan produk harus disortir dan jumlah

ISBN 978-602-73461-8-5

Rating	*Degree*	*Effect on End User*	*Effect on Next Process and Local Process*
		tidak akan beli lagi)	scrap < 100%
8	*High*	Mengakibatkan kerusakan pada sub sistem user	Mengakibatkan produk scrap (100% dari produk) atau hars diperbaiki selama lebih dari 1 jam
9	*Very high*	Membahayakan keselamatan	Mengakibatkan gangguan mesin sehingga mesin berhenti dengan adanya tanda peringatan
10	*Very high*	Melanggar aturan pemerintah yang berkaitan dengan safety	Mengakibatkan gangguan mesin hingga mesin berhenti serta mengancam keselamatan operator tanpa adanya tanda peringatan

Sumber: El-Haik, Basem. 2005. Service Design for Six Sigma. Wiley Interscience Publication

4. Masukan semua kemungkinan penyebab potensial dari mode kegagalan *(potential cause(s)/mechanical(s) of failure)* yang didefinisikan sebagai bagaimana kegagalan dapat terjadi yang digambarkan oleh sesuatu sehingga dapat dikoreksi atau dapat dikendalikan.
5. Isi nilai dari *Occurence* (O), dimana *occurence* merupakan suatu perkiraan subyektif tentang probabilitas atau peluang bahwa penyebab kegagalan itu terjadi dan akan menghasilkan mode kegagalan yang memberikan akibat tertentu. Skala dari *Occurence* dapat dilihat pada Tabel 2. Berikut yang mengindikasikan makin kecil skala maka makin baik *(smaller is better)*.

Tabel 2. Skala penilaian *occurance*

Rating	*Degree*	Berdasarkan Frekuensi
1	*Remote*	0,01 per 1000 item
2	*Very Low*	0,1 per 1000 item
3	*Low*	0,5 per 1000 item
4	*Low*	1 per 1000 item
5	*Moderate*	2 per 1000 item
6	*Moderate*	5 per 1000 item
7	*High*	10 per 1000 item
8	*High*	20 per 1000 item
9	*Very High*	50 per 1000 item
10	*Very High*	100 per 1000 item

6. Masukkan kontrol proses saat ini (*current process control*) yang merupakan deskripsi dari kontrol untuk mencegah kemungkinan sesuatu yang menyebabkan mode kegagalan dilihat dari penyebab terjadinya atau dapai dikatakan untuk mendeteksi penyebab dari setiap mode kegagalan.
7. Isi nilai *Detection* (D) pada kolom ini, dimana *Detection* menggambarkan metode-metode yang diterapkan untuk mencegah atau mendeteksi penyebab kegagalan. Skala yang digunakan adalah 1 sampai 10 yang menggambarkan bahwa semakin kecil nilai semakin baik *(smaller is better)* yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Skala penilaian *detection*

Detection	Kriteria	Ranking
Hampir tidak mungkin	Tidak diketahui kontrol yang tersedia untuk	10
Sangat sedikit Sedikit	mendeteksi mode kegagalan	9
Sangat rendah	Sangat sedikit kemungkinan kontrol saat ini	8
Rendah	untuk mendeteksi mode kegagalan	7

ISBN 978-602-73461-8-5

Detection	Kriteria	Ranking
Sedang	Sedikit kemungkinan kontrol saat ini untuk	6
Sangat sedang Tinggi	mendeteksi kegagalan	5
Sangat tinggi Hampir pasti	Kemungkinan kontrol sangat rendah untuk	4
Hampir tidak mungkin	mendeteksi mode kegagalan	3
Sangat sedikit Sedikit	Kemungkinan kontrol rendah untuk mendeteksi	2
Sangat rendah	mode kegagalan	1

Sumber: El-Haik, Basem. 2005. Service Design for Six Sigma. Wiley Interscience Publication

8. Masukkan nilai RPN ***(****Risk Priority Number)*** yang merupakan nilai dari skala *Severity* (S) x *Occurence* (O) x *Detection* (D). Skala RPN ini disusun mulai dari nilai yang terbesar hingga nilai yang terkecil sehingga kita akan mampu menentukan mode kegagalan mana yang paling kritis sehingga perlu mendahulukan tindakan korektif pada mode kegagalan tersebut. Nilai RPN mengindikasikan makin kecil nilai RPN maka makin baik ***(****smaller is better)*.
9. Masukkan tindakan yang akan direkomendasikan ***(****recommended action)*** yaitu menurunkan kemungkinan mode kegagalan itu akan terjadi atau untuk meningkatkan efektivitas dari metode-metode pencegahan atau deteksi.
10. Masukkan penanggung jawab dari individu dalam tim peninjauan ulang FMEA yang memiliki wewenang untuk menerapkan tindakan korektif tersebut.
11. Isi kolom *action taken* yang menggambarkan deskripsi singkat dari tanggal efektif dilakukannya tindakan yang telah direkomendasikan sebelumnya.
12. Masukkan hasil nilai RPN setelah tindakan tersebut diimplementasikan. Hitung dan catat nilai S, O, D yang baru diperoleh. Bila belum dilakukan tindakan maka kosongkan kolom ini.

2. Metode

2.1. Tahapan penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan pengamatan secara langsung terhadap objek penelitian di lapangan. Objek penelitian dipelajari dan diamati sehingga dapat dilakukan studi untuk melakukan perbaikan-perbaikan dengan menggunakan ilmu yang terkait. Metode yang dilakukan untuk memperoleh data melalui penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengambil data dari perusahaan seperti data mesin dan peralatan.
2. Melakukan wawancara dengan operator yang bekerja secara langsung pada di area kerja mesin produksi dan manajemen untuk mendapatkan informasi terkait.

Adapun langkah- langkah yang digunakan untuk pemecahan masalah pada perusahaan adalah:

1. Studi pendahuluan dilakukan dengan peninjauan langsung ke perusahaan dengan tujuan mengenal kondisi lingkungan kerja perusahaan dan menganalisa permasalahan apa yang dapat diangkat sebagai dasar penelitian.
2. Studi literatur mengenai teori-teori yang digunakan untuk memecahkan permasalahan yang dihadapi.
3. Perumusan masalah yaitu untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang dapat menyebabkan kerusakan mesin.
4. Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data historis dari arsip perusahaan, pengukuran langsung, maupun wawancara dengan pihak perusahaan yang terkait...
5. Pengolahan data dilakukan dengan menerapkan konsep FMEA (*Failure Mode Effect Analysis)*

ISBN 978-602-73461-8-5

6. Analisa dan evaluasi, berisi analisa dan evaluasi atas hasil perhitungan yang berhubungan dengan tingkat severity, occurance dan detection dengan menggunakan metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA)
7. Kesimpulan dan saran, berisi kesimpulan yang dirangkum dari hasil analisa dan evaluasi serta saran-saran yang dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk tujuan perbaikan perusahaan.

2.2. Pengumpulan data

Adapun data kerusakan mesin produksi pabrik karet yang digunakan PT. Bakrie Sumatera Plantations pada tahun 2012-2014 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data historis kerusakan mesin tahun 2013-2014

Nama Mesin	Tahun		
	2012	2013	2014
Prebeaker	4	6	7
Extruder King	6	5	8
Extruder Maktri	1	1	2
Dryler Trolly	1	1	0
Air Heater	0	1	1
Hydrolic Press	1	1	1

Sumber: *Maintenance* Pabrik Karet PT. Bakrie Sumatera Plantations

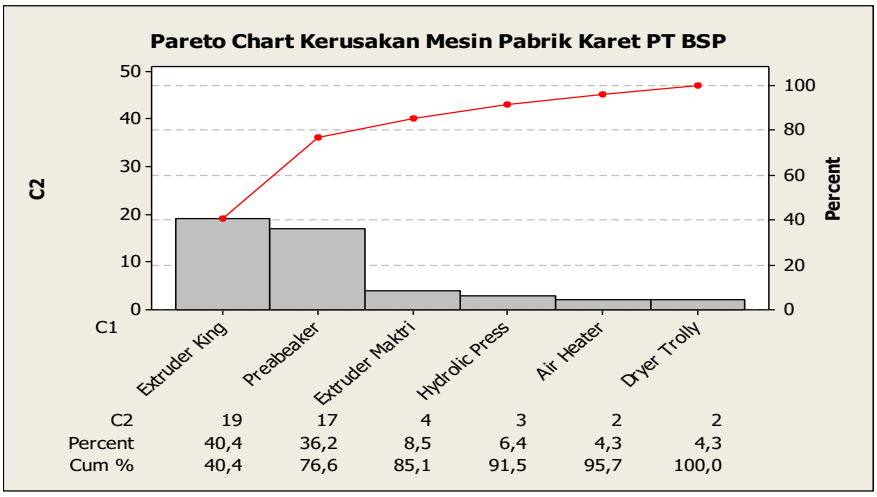
Data historis kerusakan mesin produksi yang digunakan kemudian dihitung rata- rata jumlah kerusakan pada jenis mesin yang sama. Kemudian diurutkan mulai dari yang paling tinggi hingga yang paling rendah dan dihitung persentase kerusakan serta persentase akumulatif untuk membuat diagram pareto. Adapun hasil perhitungan persentase kerusakan dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Persentase kerusakan mesin tahun 2012-2014

No	Nama Mesin	Jumlah Kerusakan	Persentase (%)	Persentase Kumulatif (%)
1	*Extruder King*	19	40,43	40,43
2	*Preabeaker*	17	36,17	76,60
3	*Extruder Maktri*	4	8,51	85,11
4	*Hydrolic Press*	3	6,38	91,49
5	*Dryer Trolly*	2	4,26	95,74
6	*Air Heater*	2	4,26	100,00
	Jumlah	47	100	

Adapun diagram data kerusakan mesin produksi yang digunakan di Pabrik Karet PT. Bakrie Sumatera Plantations pada tahun 2012-2014 dapat dilihat pada Gambar 3.

ISBN 978-602-73461-8-5



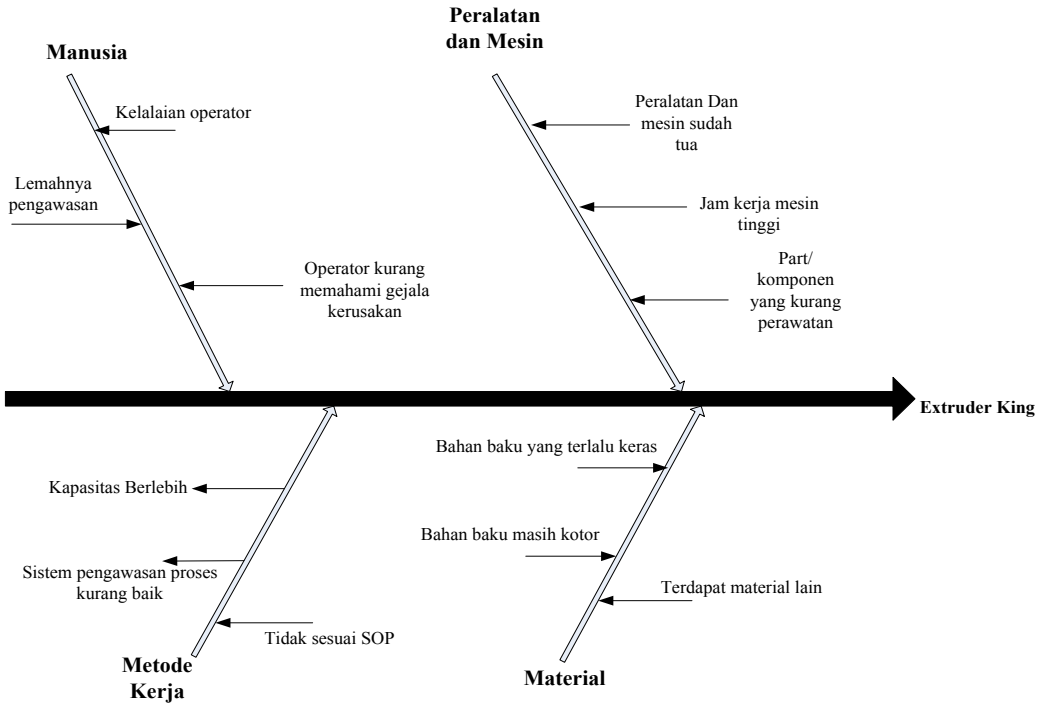
Gambar 3. Diagram pareto data kerusakan mesin pabrik karet PT. Bakrie Sumatera Plantations pada tahun 2012-2014

Berdasarkan prinsip ataupun aturan yang digunakan dalam diagram pareto adalah dengan menggunakan aturan 80 dan 20 artinya dengan melakukan 20% pekerjaan ataupun perbaikan maka dapat memperbaiki manfaat dari 80% dari pekerjaan ataupun perbaikan sesuatu. Berdasarkan persentase kerusakan Mesin pada Tahun 2012 -2014 pada Tabel 5. didapatkan bahwa *extruder king , prebeaker* memiliki persentase kumulatif di bawah 80 persen sehingga kedua mesin tersebut diidenfitikasi dan dianalisis sebab dan akibat kerusakan mesin tersebut.

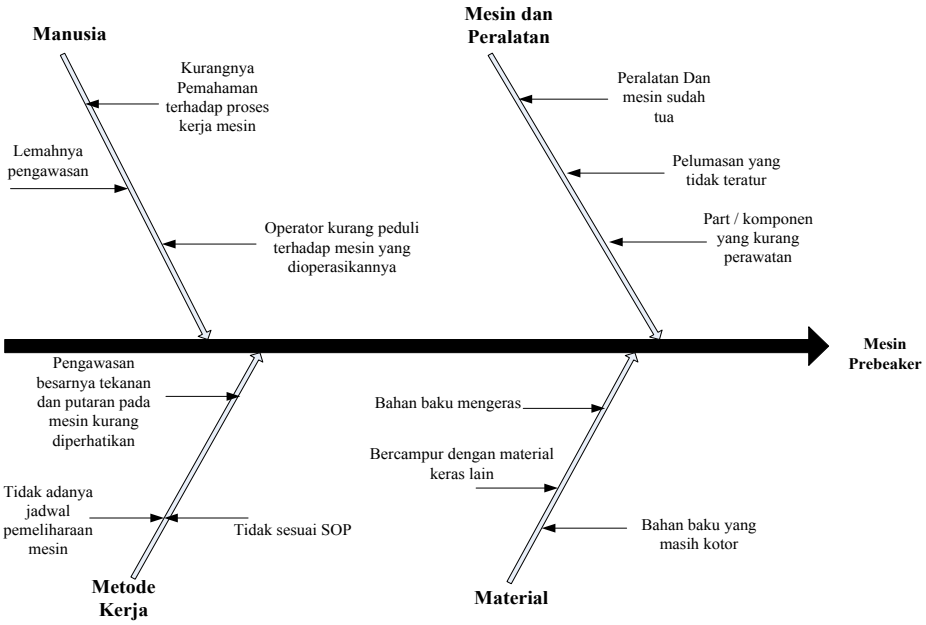
3. Hasil dan Pembahasan

Permasalahan yang paling banyak terjadi adalah prioritas utama untuk dilakukan tindakan perbaikan. Berdasarkan aturan diagram pareto 80-20 didapatkan bahwa mesin Extruder King dan Prebeaker merupakan mesin yang paling sering mengalami kerusakan pada Pabrik Karet PT. Bakrie Sumatera Plantations sehingga diidentifikasi permasalahan yang terjadi pada kedua mesin tersebut. Kemudian dilakukan identifikasi pada Extruder King dan Prebeaker yang merupakan mesin yang mengalami kerusakan tertinggi dan mencari penyebab kerusakan pada mesin tersebut dengan menggunakan *Cause and Effect Diagram* (Diagram Sebab Akibat) atau *Fishbone Diagram* (Diagram Tulang Daun). Diagram ini bertujuan untuk mencari faktor-faktor yang mungkin menjadi penyebab dari suatu masalah atau penyimpangan. *Cause and Effect Diagram* menggambarkan penyebab kerusakan mesin yang digunakan pada Pabrik Karet PT. Bakrie Sumatera Plantations. Adapun akibat kerusakan mesin Extruder King dan Prebeaker dapat dlihat pada Gambar 4. dan Gambar 5.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 4. *Cause and effect diagram* kerusakan mesin *extruder king*



Gambar 5. *Cause and effect diagram* kerusakan mesin *prebeaker*

Langkah selanjutnya menentukan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kerusakan mesin seperti faktor lingkungan, manusia, mesin dan peralatan, metode kerja dan material dengan mengidentifikasi potensi kegagalan yang akan timbul dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Hasil rekapitulasi FMEA untuk kerusakan mesin *Extruder King* yang digunakan oleh Pabrik Karet PT. Bakrie Sumatera Plantations dilihat pada Tabel 6. RPN atau

ISBN 978-602-73461-8-5

Risk Priority Number merupakan nilai yang didapat dari nilai *Severity*, *Occurance*, dan *Detection* yang terdapat pada form FMEA. Adapun rekapitulasi dari nilai RPN.

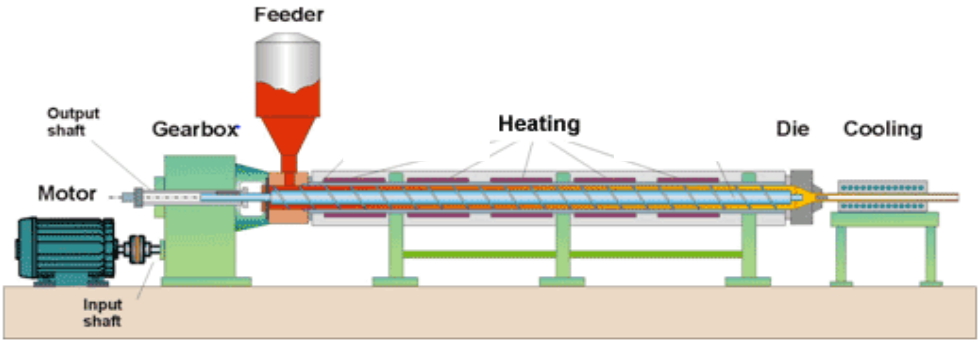
Tabel 6. Rekapitulasi FMEA kerusakan pada mesin *extruder king*

Jenis Kegagalan	Akibat dari Kegagalan	S	Penyebab Kegagalan	O	Kendali yang digunakan	D	RPN
			Mesin dan peralatan				
		7	Peralatan dan mesin sudah tua	3	Penggantiaan beberapa komponen	4	84
			Jam kerja mesin tinggi	4	Melakukan istirahat terhadap mesin	3	84
			Part/ komponen yang kurang perawatan	4	Melakukan perawatan secara berkala	4	112
			Material				
Pemotongan/ penggilingan pada mesin macet	Mesin tidak dapat beroperasi	7	Bahan baku masih kotor	4	Melakukan pembersihan sebelum di produksi	3	84
			Bahan baku terlalu keras	4	Menberikan laruran pelembut	2	56
			Terdapat material lain	4	Teliti dalam memasukkan bahan baku	3	84
			Metode Kerja				
Extruder bermasalah	Mesin berbunyi kasar, lambat	7	Kapasitas berlebih	4	Menetapkan standar kapasitas mesin	2	56
			Sistem pengawasan proses kurang baik	3	Mengefektifkan pengawasan proses	2	42
			Tidak sesuai SOP	4	Memberikan pelatihan SOP	4	112
			Manusia				
		7	Kelalaian operator	5	Memberikan pengawasan rutin	2	70
			Lemahnya pengawasan	4	Memberikan pengawasan rutin	3	84
			Operator kurang memahami gejala kerusakan	4	Memberikan penjelasan tentang gejala kerusakan yang mungkin terjadi	3	84
			Mesin dan peralatan				
Pemotongan/ perajangan pada mesin tidak berjalan.	Mesin tidak dapat beroperasi	7	Peralatan dan mesin sudah tua	4	Penggantian beberapa komponen	4	112
			Part/ komponen yang kurang perawatan	5	Melakukan perawatan secara berkala	4	140
			Pelumasan yang tidak teratur	3	Melakukan pelumasan berkala	3	63
			Material				
		7	Bahan baku mengeras	4	Memberikan larutan pelembut	3	84
			Bercampur dengan bahan material keras lain	5	Melakukan pemeriksaan bahan baku sebelum dimasukkan dalam mesin	2	70
			Bahan baku masih kotor	3	Melakukan pembersihan sebelum produksi	3	63

ISBN 978-602-73461-8-5

Jenis Kegagalan	Akibat dari Kegagalan	S	Penyebab Kegagalan	O	Kendali yang digunakan	D	RPN
			Metode Kerja				
		7	Pengawasan besarnya tekanan dan putaran pada mesin kurang diperhatikan	4	Melakukan standar tekanan dan putaran mesin	3	84
			Tidak adanya jadwal pemeliharaan	3	Menetapkan jadwal pemeliharaan rutin	3	63
			Tidak sesuai SOP	3	Memberitahukan tentang SOP pengerjaan	3	63
			Manusia				
		7	Kurangnya pemahaman terhadap proses kerja mesin	3	Memberikan pengetahuan tentang resiko kerja	3	63
			Lemahnya pengawasan	4	Memberikan pengawasan rutin	5	140
			Operator kurang peduli terhadap mesin yang dioperasikannya	4	Melakukan pengawasan terhadap kerja pengoperasian mesin	3	108

Mesin *Extruder King* adalah mesin yang secara umum digunakan untuk memotong dan menghaluskan koagulum agar lebih halus. Cara kerja dari mesin *Extruder King* adalah berdasarkan beberapa komponen utama yaitu *bearing*, *gear box*, *scroll*, dan *fan belt*. Bentuk fisik mesin *Extruder King* dapat dilihat pada Gambar 6. berikut.



Gambar 6. Mesin *Extruder King*

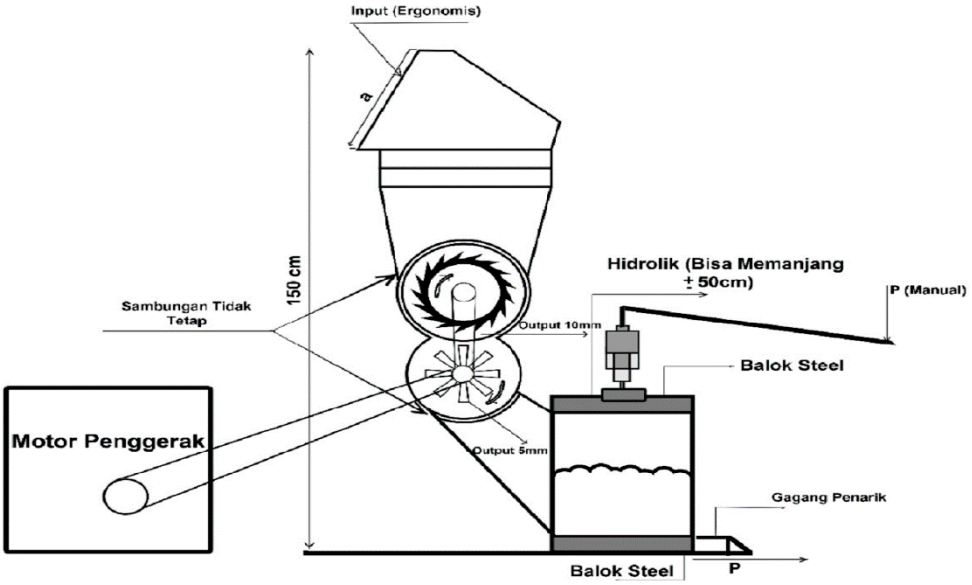
Berdasarkan hasil dari penilaian RPN, maka beberapa tindakan pencegahan yang dapat diterapkan untuk mengurangi resiko kegagalan pada mesin *Extruder King* adalah sebagai berikut:

1. *Gearbox* adalah salah satu komponen utama suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga dari motor yang berputar untuk memutar spindel mesin maupun melakukan gerakan *feeding*. Adapun prosedur pemeriksaan dan perawatan yang dijalankan terhadap *gear box* adalah sebagai berikut:
   a. Melakukan pengukuran pada diameter out shaft dan input shaft dari keausan.
   b. Melakukan pemeriksaan pada worm shaft apakah ada keausan.
   c. Melakukan pemeriksaan pada bantalan shaft apakah sudah aus.
   d. Melakukan pemeriksaan terhadap keadaan baut pengikat gear box.
   e. Pemeriksaan oil seal apakah bocor atau tidak.

ISBN 978-602-73461-8-5

2. *Fan belt* adalah komponen mesin yang berfungsi menransfer energi putar dari poros engkol kebeberapa komponen mesin. Adapun langkah perawatan yang perlu dilakukan dalam mengatasi kerusakan fan belt dalah sebagai berikut:
   a. Memeriksa kekencangan *fan belt*, dimana jika sudah tidak kencang sebaiknya dilakukan penyetelan ulang.
   b. Memeriksa apakah ada retak-retak pada *fan belt*, jika ada maka diganti dengan *fan belt* baru.
   c. Menghindari pemekaian gemuk yang berlebihan.
   d. Memeriksa ketebalan *belt*, jika sudah tipis maka sebaiknya diganti.
3. *Bearing* adalah komponen mesin yang berguna untuk membatasi gerak relatif antara dua atau lebih komponen mesin agar selalu bergerak pada arah yang diinginkan.
4. *Die* adalah komponen mesin yang berfungsi sebagai tempat keluar dan pembentukan produk ketika bahan menunggalkan extruder. langkah perawatan yang harus dilakukan untuk mencegah kerusakan mesin pada komponen die adalah dengan membersihkan lempeng die setiap selesai produksi agar tidak terjadi penggumpalan bahan baku di lempeng die.
5. *Heating* adalah komponen mesin yang berfungsi menjaga kestabilan suhu mesin saat produksi. Langkah pencegahan yang perlu dilakukan untuk mengurangi resiko kegagalan heating adalah dengan mengganti air coolant secara berkala.

Selanjutnya tindakan pencegahan pada mesin *Prebeaker*. Mesin *Prebeaker* adalah mesin yang digunakan untuk memotong/merajang koagulum menjadi butiran karet dengan ukuran ± 2,5 cm. Cara kerja dari mesin Prebeaker adalah berdasarkan beberapa komponen utama yaitu sistem hidrolik , gear box, cutter, dan bearing . Bentuk fisik mesin Prebeaker dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Mesin *prebeaker*

Tindakan pencegahan yang dapat diterapkan untuk menguarngi resiko kegagalan pada mesin prebeaker adalah sebagai berikut.

1. Hidrolik adalah suatu bentuk perubahan atau pemindahan daya dengan menggunakan fluida cair untuk memperolah daya yang besar. Tindakan pencegahan yang perlu diperhatikan dalam mengatasi kerusakan sistem hidrolik adalah:

ISBN 978-602-73461-8-5

a. Masalah pada bagian hidrolik adalah akibat adanya gangguan pada kompresor. Permasalahan- permasalahan yang umum dijumpai pada kompresor adalah kebocoran pada sil karet. umumnya, disebabkan gagalnya pembersihan karet atau penggunaan sil karet yang salah. Pilihlah sambungan berkualitas tinggi, putuskan sambungannya dan pasangkan secara benar dengan sil karet yang cocok untuk menghindari kebocoran.
b. Tekanan minyak pelumas dan saringan minyak pelumas kompresor harus diperiksa setiap hari.
c. Saringan udara masuk sangat mudah tersumbat, terutama pada lingkungan koagulum karet. untuk itu, harus diperiksa dan dibersihkan secara teratur.
d. Traps manual harus secara berkala dibuka dan ditutup kembali untuk menguras fluida yang terakumulasi.

2. *Gearbox* adalah salah satu komponen utama suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga dari motor yang berputar untuk memutar spindel mesin maupun melakukan gerakan feeding. Adapun prosedur pemeriksaan dan perawatan yang dijalankan terhadap gear box adalah sebagai berikut:
   a. Melakukan pengukuran pada diameter out shaft dan input shaft dari keausan.
   b. Melakukan pemeriksaan pada worm shaft apakah ada keausan.
   c. Melakukan pemeriksaan pada bantalan shaft apakah sudah aus.
   d. Melakukan pemeriksaan terhadap keadaan baut pengikat gear box.
   e. Pemeriksaan oil seal apakah bocor atau tidak.
3. *Bearing* adalah komponen mesin yang berguna untuk membatasi gerak relatif antara dua atau lebih komponen mesin agar selalu bergerak pada arah yang diinginkan.
4. *Cutter* adalah komponen mesin yang digunakan untuk memotong koagulum menjadi bentuk yang lebih kecil/halus. Langkah pencegahan kerusakan pada cutter adalah dengan membersihkan pisau cutter setiap selesai produksi dan melakukan pengasahan secara berkala apabila terdengar bunyi dari mesin.

4. Kesimpulan dan Saran

Adapun kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Diagram pareto menunjukkan bahwa mesin *extruder king* dan *prebeaker* yang paling sering mengalami kerusakan dan merupakan prioritas untuk dilakukan tindakan pencegahan.
2. Faktor penyebab besarnya frekwensi kerusakan pada mesin *extruder king* adalah faktor mesin dan peralatan yaitu kurangnya perawatan komponen mesin, kemudian faktor metode kerja yaitu tidak sesuai SOP dengan nilai RPN hasil analisis FMEA yaitu 112. Sedangkan pada mesin *prebeaker* penyebab besarnya frekwensi kerusakan terdapat pada faktor mesin dan peralatan yaitu kurangnya perawatan pada komponen mesin, kemudian faktor manusia yaitu lemahnya pengawasan dengan nilai RPN hasil analisis FMEA sebesar 140.
3. Tindakan pencegahan terhadap kerusakan yang terjadi pada mesin dapat berupa perawatan berkala terhadap komponen mesin dan pelumasan mesin secara rutin, selain itu mesin juga harus dibersihkan secara rutin dari sisa-sisa koagulum yang masih menempel pada bagian pemotongan dan penghalusan. Pada bagian operator perusahaan dapat memberikan pelatihan untuk memberitahukan operator tentang pentingnya SOP dan bekerja sama dalam tim.

Saran yang dapat diberikan kepada PT. Bakrie Sumatera Plantations adalah sebagai berikut:

ISBN 978-602-73461-8-5

1. Perusahaan melakukan penggantian terhadap beberapa komponen yang berpotensi besar mengalami kerusakan dalam waktu dekat sehingga tidak mengalami kerusakan pada saat produksi.
2. Perusahaan sebaiknya mengadakan pelatihan kepada operator tentang pentingnya menaati SOP yang telah ditetapkan oleh pabrik.

Daftar Pustaka

Besterfield, Dale. 2000. *Total Quality Management Third Edition* page 377-405. Pearson Education International.

Daryus, Asyari. 2007. *Manajemen Pemeliharaan Mesin*. UDP. Hal 1.

El-Haik, Basem. 2005. *Service Design for Six Sigma.* Wiley Interscience Publication. http;//repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/32833/4/Chapter%20I.pdf.

Puspitasari, Ani Budi, dkk. 2014. *Penggunaan Fmea Dalam Mengidentifikasi Resiko Kegagalan Proses Produksi Sarung Atm (Alat Tenun Mesin) (Studi Kasus PT. Asaputex Jaya Tegal)*. Vol IX, No 2.

ISBN 978-602-73461-8-5

Analisis Penyebab Kegagalan Proses Pengadaan di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan D.I . Yogyakarta dengan Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis*

Finiesa Septi Aulia[*)], Darminto Pujotomo
Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedharto, SH.,Kampus Undip Semarang 50275
[*)] finiesaseptiaulia@gmail.com

Intisari

Pengadaan barang/jasa harus mempunyai sistem yang baik untuk mendukung seluruh kegiatan produksi yang dilakukan oleh perusahaan. Apabila muncul masalah yang menyebabkan pelaksanaan tidak sesuai dengan penjadwalannya, maka hal tersebut dapat menimbulkan dampak, salah satunya yaitu Kegagalan Pengadaan. Data pekerjaan terkontrak PT PLN (Persero) Distribusi Jateng-DIY tahun 2015-2016, dari total 98 kontrak, lima diantaranya mengalami kegagalan. Item-item pengadaan yang rawan mengalami kegagalan pengadaan adalah pengadaan yang memiliki nilai kontrak yang besar, yaitu berkisar antara Rp 4.000.000.000 s/d Rp 9.000.000.000. Dengan banyak terjadinya kegagalan pengadaan utamanya dalam proses lelang, maka perlu dilakukan analisis terhadap faktor–faktor apa saja yang mempengaruhi kegagalan proses pengadaan di PT PLN (Persero) Distribusi Jateng-DIY. Fault Tree Analysis (FTA) merupakan teknik analisis untuk mengidentifikasikan kegagalan suatu sistem. Permasalahan yang mungkin menjadi penyebab dimasukkan dalam kuesioner. Kusesioner dilakukan kepada expert people dalam proses pengadaan barang dan jasa PT. PLN Distribusi Jateng-DIY. Hasil analisa didapat faktor yang dominan menyebabkan kegagalan pengadaan adalah jaminan penawaran tidak sesuai dengan dokumen dengan bobot total 0.61618, pelaksana pengadaan tidak memahami dengan jelas apa yang tertuang dalam RKS dengan bobot total 0.59853, dokumen penawaran tidak lengkap dengan bobot total 0.58971, surat penawaran tidak sesuai dengan dokumen penawaran dengan bobot total 0.57206, dan tidak ada dukungan dari pabrikan dengan bobot total 0.56765.

Kata kunci: Fault Tree Analysis, kegagalan pengadaan, keterlambatan

1. Pendahuluan

Pengadaan barang/jasa harus mempunyai sistem yang baik untuk mendukung seluruh kegiatan produksi yang dilakukan oleh perusahaan. Kondisi ideal adalah apabila pada waktu pelaksanaan proses pengadaan, kegiatan-kegiatannya berjalan sesuai dengan penjadwalan yang sudah direncanakan. Tetapi, apabila muncul masalah yang menyebabkan pelaksanaan tidak sesuai dengan penjadwalan, maka hal tersebut dapat menimbulkan dampak, salah satunya yaitu kegagalan Pengadaan.

Data pekerjaan terkontrak PT PLN (Persero) Distribusi Jateng-DIY tahun 2015-2016, dari total 98 kontrak, lima diantaranya mengalami kegagalan. Item-item pengadaan yang rawan mengalami kegagalan pengadaan adalah pengadaan yang memiliki nilai kontrak yang besar, yaitu berkisar antara Rp 4.000.000.000 s/d Rp 9.000.000.000. Oleh karena itu, pengadaan yang gagal tidak bisa dianggap remeh walaupun hanya terjadi satu, dua, atau tiga pengadaan. Kegagalan pengadaan ini mengakibatkan kerugian bagi perusahaan

ISBN 978-602-73461-8-5

Gagalnya proses pengadaan bisa disebabkan oleh berbagai faktor dari pihak - pihak terkait (*stake holders*), baik dari pengguna, penyedia barang/jasa, dan internal bidang pengadaan. Dengan banyak terjadinya kegagalan pengadaan utamanya dalam proses lelang, maka perlu dilakukan analisis terhadap faktor–faktor apa saja yang mempengaruhi kegagalan proses pengadaan di PT PLN (Persero) Distribusi Jateng-DIY tersebut. Di samping itu, juga mengetahui pengadaan apa yang mengalami kegagalan sehingga pengadaan terlambat. Ada beberapa cara dalam menganalisa kegagalan suatu proses pengadaan, salah satunya adalah *Fault Tree Analysis* (FTA). FTA merupakan teknik untuk mengidentifikasikan kegagalan (*failure*) dari suatu sistem (Priyanta, 2000). Sistem dalam penelitian ini adalah pelaksanaan pengadaan dan kegagalan yang dimaksud adalah kegagalan proses pengadaan. Setelah mengetahui penyebab-penyabab kegagalan pengadaan yang terjadi, kemudian diberikan analisis perbaikan dengan menggunakan metode 5W+1H.

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan maka dapat diidentifikasi beberapa hal yaitu terdapat beberapa item pengadaan yang mengalami gagal pengadaan dalam rentang tahun 2015-2016. Dari penelitian yang dilakukan, penulis menemukan lima item pengadaan yang gagal dan menyebabkan pengadaan-pengadaan tersebut harus diulang kembali untuk memenuhi kebutuhan perusahaan. Pengadaan yang gagal ini perlu diketahui apa akar permasalahannya dan faktor-faktor apa yang menjadi penyabab utama kegagalan pengadaan di PT PLN (Persero) Distribusi Jateng-DIY agar tidak merugikan perusahaan kedepannya. Setelah mengetahui akar permasalahannya maka dapat dirumuskan bagaimana cara mengatasi permasalahan yang menyebabkan kegagalan pengadaan tersebut.

2. Metode

Untuk dapat melaksanakan penelitian yang sistematis, maka perlu adanya suatu urutan langkah penelitian.

2.1 Fishbone diagram

Fishbone Diagram menunjukkan sebuah dampak atau akibat dari sebuah permasalahan, dengan berbagai penyebab. Efek atau akibat dituliskan sebagai kepala. Sedangkan tulang ikan diisi oleh sebab-sebab sesuai dengan pendekatan permasalahannya. Umumnya penggunaan fishbone untuk desain produk dan mencegah kualitas produk yang jelek (*defect*). Mengenai pemilahan sebab-sebab, berikut adalah beberapa pendekatannya:

The 4 M's (digunakan untuk perusahaan manufaktur) :
- *machine (equipment)*
- *method (process/ inspection)*
- *material (raw, consumables, etc)*
- *man power*

The 4 S's (digunakan pada industri jasa) :
- *surroundings*
- *suppliers*
- *systems*
- *skills*

The 4 P's (pendekatan manajemen pemasaran) :
- *price*
- *product*
- *place*

ISBN 978-602-73461-8-5

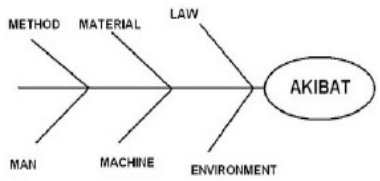
- *promotion*

The 8 P's (digunakan pada industri jasa) :

- *people*
- *process*
- *policies*
- *procedures*
- *price*
- *promotion*
- *place/plant*
- *product*

Langkah-langkah untuk menerapkan diagram tulang ikan menurut Gaspersz (2003) adalah

1. Mulai dengan pernyataan masalah utama yang penting dan mendesak untuk diselesaikan.
2. Tuliskan pernyataan masalah itu pada kepala ikan yang merupakan akibat.
3. Tulis faktor-faktor panyebab utama yang mempengaruhi masalah sebagai tulang besar juga ditempatkan dalam kotak. Faktor penyebab atau kategori utama dapat dikembangkan melalui : stratifikasi ke dalam pengelompokan dari faktor- faktor manusia, mesin, pealatan, material, metode kerja, lingkungan kerja, pengukuran atau stratifikasi melalui langkah-langkah aktual dalam proses. Faktor penyebab atau kategori dapat dikembangkan melalui *brainstorming*.
4. Tuliskan penyebab-penyebab sekunder yang mempengaruhi penyebab-penyebab utama (tulang-tulang besar), serta penyebab sekunder itu dinyatakan sebagai tulang berukuran sedang.
5. Tuliskan penyebab-penyebab tersier yang mempengaruhi penyebab-panyebab sekunder, serta penyebab tersier itu dinyatakan sebagai tulang-tulang berukuran kecil.
6. Tentukan item-item yang penting dari setiap faktor dan tandailah faktor-faktor penting tertentu yang kelihatannya memiliki pengaruh nyata terhadap karakteristik kualitas
7. Catatlah informasi yag perlu di dalam diagram sebab akibat itu seperti: judul, nama produk, proses, kelompok daftar partisipan, tanggal, dll.



Gambar 1. *Fishbone diagram*
(Sumber : Morphousmedia, 2009)

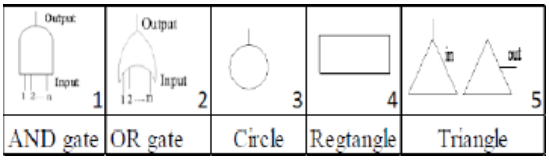
2.2 *Fault Tree Analysis* (FTA)

Fault Tree Analysis (FTA) adalah teknik yang sering digunakan untuk menganalisa kegagalan sistem, menganalisa, dimana terdapat suatu kejadian yang tidak diinginkan disebut *undesired event* terjadi pada sistem, dan sistem tersebut kemudian dianalisa dengan kondisi lingkungan dan operasional yang ada untuk menemukan semua cara yang mungkin terjadi yang mengarah pada terjadinya *undesired event* tersebut (Vesely dkk, 1981). Menurut Pyzdek (2002), *FTA* memiliki beberapa tahapan:

ISBN 978-602-73461-8-5

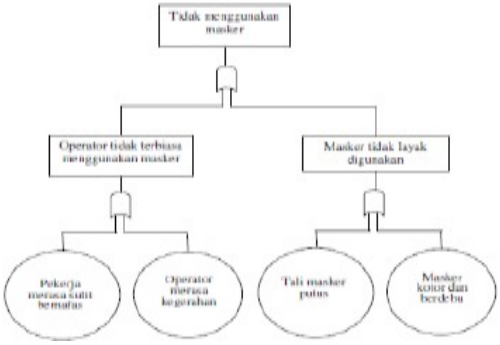
1) Tentukan kejadian paling atas/ utama
2) Tetapkan batasan FTA
3) Periksa system untuk mengerti bagaiman berbagai elemen berhubungan pada satu dengan lainnya dan kejadian paling atas
4) Buat pohon kesalahan, mulai dari kejadian paling atas dan bekerja kearah bawah
5) Analisis pohon kesalahan untuk mengidentifikasi cara dalam menghilangkan kejadian yang mengarah pada kegagalan
6) Persiapkan rencana tindakan perbaikan untuk mencegah kegagalan.

Berikut ini adalah simbol yang sering dipakai dalam *Fault Tree Analysis*:



Gambar 2. Simbol FTA
(Sumber : Nugroho dkk, 2011)

Keterangan:
1. Kejadian output terjadi jika semua kejadian input terjadi.
2. Kejadian output terjadi jika salah satu kejadian input terjadi.
3. Kejadian dasar (*basic event*), pemula kesalahan yang tidak membutuhkan pengembangan lebih lanjut
4. *Resultant event*, kesalahan karena satu atau lebih penyebab
5. Transfer *in* dimana fault tree dikembangkan lebih lanjut pada kejadian pada *transfer out* yang bersamaan dan *transfer out* dimana fault tree harus digabungkan dengan *transfer in*.



Gambar 3. Contoh *FTA*
(Sumber : Nugroho dkk, 2011)

3. Analisis dan Pembahasan

3.1 Data faktor penyebab kegagalan pengadaan

Berdasarkan hasil wawancara dengan Pejabat Pelaksana Pengadaan dan Pejabat Perencanaan Pengadaan serta beberapa orang terkait pengadaan dan referensi penelitian sebelumnya didapatkan 50 faktor yang berpotensi untuk menyebabkan kegagalan proses pengadaan.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 1. Faktor kegagalan pengadaan

No	Faktor Kegagalan	No	Faktor Kegagalan
X1	Penyedia yang tersedia hanya 1 / Jumlah Peserta yang memasukkan penawaran =1		jauh
X2	Gagal mengupload dokumen penawaran	X26	Sanggahan peserta terhadap pelaksanaan pelelangan dan dokumen pengadaan ternyata benar
X3	Terlambat mengetahui pengumuman pelelangan	X27	Kesalahan dokumen pengadaan
X4	Kelangkaan material di pasar	X28	Penjelasan pengadaan (*Aanwijzing*) tidak lengkap / tidak tuntas
X5	Kurangnya waktu yang disediakan untuk mempersiapkan dokumen penawaran (contoh : permintaan surat jaminan penawaran)	X29	Proses pelelangan tidak sesuai dengan KEPDIR
		X30	Kesalahan dalam evaluasi
X6	Tidak ada penawaran yang lulus evaluasi penawaran	X31	Calon Pemenang dan calon pemenang cadangan tidak hadir dalam klarifikasi dan pembuktian kualifikasi
X7	Jaminan penawaran tidak sesuai dengan dokumen (misal dalam hal form dan tanggal)	X32	Tidak siap dengan bukti kualifikasi yang dimiliki
X8	Surat Penawaran tidak sesuai dengan dokumen	X33	Nilai penawaran terlalu rendah (≤ 80% dari HPS)
X9	Dokumen penawaran tidak lengkap		
X10	Spesifikasi teknis kurang dari yang di syaratkan	X34	Pelaksana pengadaan tidak memahami dengan jelas apa yang tertuang dalam RKS
X11	Spesifikasi teknis tidak sesuai dari yang di Syaratkan		
X12	Metode pelaksanaan pekerjaan tidak sesuai (tidak menjelaskan penyelesaian pekerjaan)	X35	Jumlah tenaga kerja tidak sebanding dengan volume pekerjaan
X13	Persyaratan kualifikasi pengadaan tidak sesuai dokumen pelelangan	X36	Tidak ada *job description* yang jelas
X14	Peralatan minimal yang disyaratkan kurang	X37	Kurangnya pemahaman pekerja terhadap pekerjaannya
		X38	Produktivitas tenaga kerja kurang
X15	Kurangnya dukungan bank	X39	Sarana prasarana kurang memadai
X16	Tidak ada dukungan dari pabrikan	X40	Penyediaan dana proyek kurang
X17	Seluruh penawaran setelah koreksi lebih tinggi dari HPS	X41	Resiko pekerjaan yang besar
		X42	Koordinasi antar bagian lemah
X18	Kesalahan aritmatik dalam menetapkan HPS	X43	Sistem alur administrasi yang lamban antar bagian pengadaan
X19	Besarnya biaya overhead proyek yang dimasukkan ke dalam biaya penawaran	X44	Waktu penyusunan ROK, HPE, dan HPS yang mepet
X20	Kesalahan memahami site proyek		
X21	HPS yang terlalu rendah	X45	Komunikasi tidak efisien
X22	Kesalahan dalam survey harga	X46	Adanya pekerjaan tambahan lain
X23	Kesalahan dalam memprediksi fluktuasi harga	X47	Perubahan spesifikasi dari pengguna
		X48	Dana pengguna tidak mengacu pada penawaran penyedia
X24	Tidak memperhitungkan inflasi		
X25	Jarak waktu penerbitan anggaran dengan pelaksana pengadaan terlalu		Penyedia tidak *qualified* (tidak memahami secara benar proses

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Faktor Kegagalan	No	Faktor Kegagalan
X49	pelalangan) Contoh : Kurang pahamnya penyedia terhadap aturan / mekanisme proses Sanggahan	X50	Hal-hal yang tidak diduga -Perubahan kurs mata uang, Politik internal, *Conflict of interest* dll.

3.2 Identifikasi penyebab kegagalan pengadaan

Dalam pengumpulan data, diperoleh 50 buah faktor yang berkemungkinan menyebabkan kegagalan pengadaan. Selanjutnya dianalisa penyebab kegagalan pengadaan dengan menggunakan diagram sebab akibat. Diagram sebab akibat untuk kegagalan pengadaan dapat dilihat pada Gambar 4. Diagram Fishbone Faktor-Faktor Penyebab Kegagalan Pengadaan Barang dan Jasa di PT PLN (Persero) Distribusi Jateng-DIY.

3.3 Hasil penelitian persepsi responden ahli (*experts*) terhadap faktor penyebab

3.3.1. Kegagalan pengadaan

Metode Fault Tree Analysis (FTA) merupakan suatu metode yang membutuhkan suatu penelitian ahli potensial dan probabilitas resiko yang terjadi daftar ahli/responden *Fault Tree Analysis* (FTA) dapat dilihat pada Tabel 3. *Weighting score experts.* Probabilitas *basic event* pada FTA didapat secara subjektif, dalam ini digunakan kuesioner. Kuesioner akan disebar kepada ahli/responden untuk menentukan probabilitas dari event. Perkiraan dari probabilitas kejadian dari *basic event* bergantung pada pengalaman dan informasi tentang projek sebelumnya (Bungin, 2010). Kuesioner ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan pengadaan dengan probabilitas potensi terjadinya penyebab tersebut terhadap seluruh kegagalan yang terjadi. Pada kuesioner ini skala kepentingan Likert dangan bobot yang digunakan terdiri dari rentang 10 - 100, dimana bobot 10 menyatakan probabilitas terjadinya 10% dari seluruh kegagalan dan 100 menyatakan probabilitas terjadi 100% dari seluruh kegagalan. Para ahli dievaluasi utnuk memperkenalkan faktor bobot karena setiap ahli memiliki pendapat dan tingkat keahlian yang berbeda. Keputusan oleh ahli/ responden memiliki nilai bobot yang berbeda sesuai jabatan, pengalaman kerja dan umurnya yaitu :

Tabel 2. *Weighting score and constitution of different experts* (Yuhua & Datao, 2005)

Constitution	Classification	Score
Title	Professor	5
	Vice-Professor	4
	Instructor	3
	Primary	2
	Worker	1
Service time	<30 years	5
	20-30	4
	10-20	3
	5-10	2
	>5	1
Education level	Master	5
	Bachelor	4
	Junior college level	3

ISBN 978-602-73461-8-5

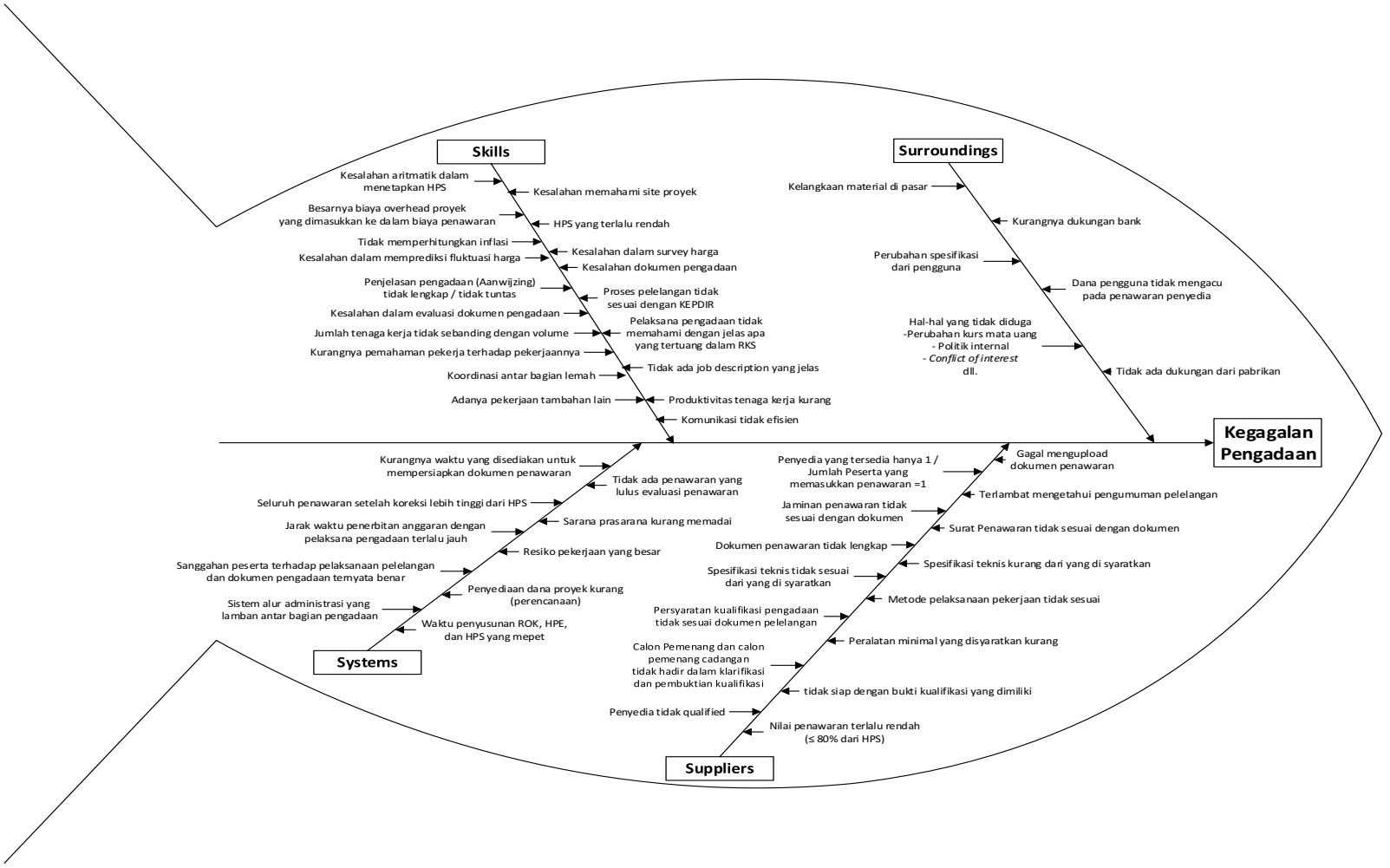
Constitution	Classification	Score
	Technical secondary school level	2
Age	>50	4
	40-49	3
	30-39	2
	>30	1

$$Weghtage\ factor = \frac{Wt.score\ of\ the\ expert}{\sum Wt\ score\ of\ all\ experts} \quad (1)$$

Tabel 3. *Weighting score experts*

Jabatan *(TITLE)*	*Work experience* (tahun/*year*)	Umur *(AGE)* (tahun/*year*)	Weight-age Score	Weight-age Factor
Pejabat Perencanaan Pengadaan	21	51	12	0.1765
Assistant Officer Perencanaan Pengadaan	5	55	9	0.1324
Assistant Analyst Perencanaan Pengadaan	6	29	6	0.0882
Assistant Analyst Perencanaan Pengadaan	2	44	6	0.0882
Pejabat Pelaksanaan Pengadaan	8	55	12	0.1765
Assistant Analyst Pelaksanaan Pengadaan	6	31	6	0.0882
Assistant Officer Pelaksanaan Pengadaan	32	52	12	0.1765
Assistant Officer Pelaksanaan Pengadaan	1.25	30	5	0.0735

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 4. Diagram *fishbone* faktor-faktor penyebab kegagalan pengadaan barang dan jasa di PT PLN (Persero) distribusi Jateng-DIY

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 4. Hasil pembobotan kuesioner berdasarkan *experts*

No	Total Bobot Probabilitas	Persentase	*Ranking*	Kriteria Pengaruh
X1	0.41471	41%	35	
X2	0.47794	48%	21	
X3	0.52794	53%	10	
X4	0.36912	37%	42	
X5	0.44412	44%	29	
X6	0.51912	52%	11	
X7	0.61618	62%	1	Berpengaruh
X8	0.57206	57%	4	Berpengaruh
X9	0.58971	59%	3	Berpengaruh
X10	0.53676	54%	7	
X11	0.51912	52%	11	
X12	0.38529	39%	40	
X13	0.51765	52%	13	
X14	0.49559	50%	17	
X15	0.45441	45%	26	
X16	0.56765	57%	5	Berpengaruh
X17	0.55294	55%	6	
X18	0.47941	48%	20	
X19	0.37206	37%	41	
X20	0.41765	42%	34	
X21	0.40000	40%	37	
X22	0.40441	40%	36	
X23	0.47059	47%	23	
X24	0.41765	42%	33	
X25	0.36765	37%	43	
X26	0.52794	53%	8	
X27	0.38676	39%	38	
X28	0.46176	46%	25	
X29	0.42647	43%	30	
X30	0.42500	43%	31	
X31	0.34559	35%	45	
X32	0.42059	42%	32	
X33	0.46618	47%	24	
X34	0.59853	60%	2	Berpengaruh
X35	0.27647	28%	46	
X36	0.26765	27%	48	
X37	0.25441	25%	49	
X38	0.25441	25%	49	
X39	0.27206	27%	47	
X40	0.48824	49%	19	
X41	0.50882	51%	15	
X42	0.50000	50%	16	
X43	0.49265	49%	18	
X44	0.45000	45%	28	
X45	0.47500	48%	22	
X46	0.38676	39%	39	
X47	0.35882	36%	44	

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Total Bobot Probabilitas	Persentase	*Ranking*	Kriteria Pengaruh
X48	0.51029	51%	14	
X49	0.52794	53%	8	
X50	0.45294	45%	27	

Dari Tabel 4 dapat terlihat bahwa 5 faktor ranking tertinggi penyebab kegagalan pengadaan adalah:

***Ranking* 1 : (X7) Jaminan penawaran tidak sesuai dengan dokumen**

Jaminan penawaran adalah jaminan yang diberikan Bank Umum/ Asing yang beroperasi di Indonesia/ perusahaan asuransi kepada penerima jaminan untuk membayar sejumlah uang kepadanya pada waktu tertentu jika pihak terjamin tidak dapat memenuhi kewajibannya.

Faktor ini dianggap berpengaruh sebesar 62% oleh responden dikarenakan sering terjadi atau dialami oleh bagian pengadaan. Jaminan penawaran menjadi salah satu hal yang paling dikeluhkan baik dari pihak pengadaan maupun penyedia. Pembuatan jamninan penawaran harus sesuai dengan form PLN dan berisi 10 item ketentuan seperti yang terlampir dalam Keputusan Direksi No. 317.K/DIR/2012 Tentang Pedoman Pengelolaan Jaminan/Bank Garansi di Lingkungan PT PLN

Dalam kenyataannya bentuk surat jaminan penawaran yang dilampirkan dalam dokumen penawaran kadang-kadang tidak mengikuti format yang ditetapkan oleh PT PLN. Hal ini disebabkan beberapa Bank / perusahaan asuransi telah memiliki format sendiri, biasanya berbentuk selembar kertas dengan menggunakan kertas khusus yang berisi kalimat khusus yang sudah baku sehingga kadang- kadang tidak sesuai dengan yang dipersyaratkan PLN. Bahkan jika substansi surat jaminan penawaran terpenuhi jika format jaminan penawaran tidak sama persis dengan contoh yang telah ditetapkan, PT PLN tidak dapat menerima surat jaminan penawaran. Dari item-item diatas apabila tidak dipenuhi oleh penyedia karena asuransi atau bank pemberi jaminan penawaran tidak melampirkan sesuai form PLN maka tidak ada toleransi oleh PLN dan langsung gagal. Hal ini sudah menjadi kebijakan pusat.

***Ranking* 2: (X34) Pelaksana pengadaan tidak memahami dengan jelas apa yang tertuang dalam RKS**

Faktor ini adalah salah satu hal yang mungkin sering luput atau tidak disadari. Tidak adanya mekanisme sistem informasi dari Pelaksana pengadaan ke Perencana pengadaan atau sebaliknya menyebabkan kemungkinan terjadinya multitafsir dokumen pengadaan, salah satunya adalah RKS (Rancangan Sistem Kerja dan Syarat). Multitafsir RKS dapat disebabkan oleh intensitas komunikasi yang rendah antar bagian pengadaan utamanya subbagian Perencanaan Pengadaan dan Pelaksanaan Pengadaan yang berkaitan langsung dengan RKS. Kesalahan tafsir dalam RKS dapat berakibat pada penyedia yang seharusnya lulus kualifikasi menjadi tidak lulus. Hal ini memperkecil jumlah penyedia serta berpotensi menyebabkan kegagalan pengadaan

***Ranking* 3: (X9) Dokumen penawaran tidak lengkap**

Dokumen Penawaran adalah surat penawaran beserta seluruh dokumen lampirannya yang disiapkan oleh Penyedia Barang/Jasa (0620.K/DIR/2013 Tentang Pedoman Umum Pengadaan Barang/Jasa PT PLN). Dokumen Penawaran disampai-kan sesuai metode penyampaian Dokumen Penawaran dan sekurang-kurangnya terdiri dari:

- Surat Penawaran bertanggal dan ditandatangani oleh yang memiliki kewenangan.
- Lampiran Surat Penawaran

ISBN 978-602-73461-8-5

Apabila salah satu dari syarat lampiran surat penawaran tidak lengkap maka penyedia dinyatakan tidak lulus evaluasi administrasi dan otomatis tidak lulus evaluasi penawaran. Secara otomatis proses lelang dapat gagal.

***Ranking* 4: (X8) Surat Penawaran tidak sesuai dengan dokumen penawaran**

Lampiran Surat Penawaran untuk Pengadaan Barang/Jasa Konstruksi/Jasa lainnya:

1) Jaminan Penawaran asli.
2) Daftar Kuantitas dan Harga.
3) Surat Kuasa (apabila diperlukan).
4) Metode Pelaksanaan (apabila diper-syaratkan).
5) Jadwal waktu pelaksanaan.
6) Daftar peralatan (apabila dipersyarat-kan).
7) Daftar personil (apabila dipersyarat-kan).
8) Analisis harga satuan (apabila dipersyaratkan).
9) Lampiran lain yang ditentukan dalam Dokumen Pelelangan.
10) Bukti Penerimaan Addendum Dokumen Pelelangan/RKS (apabila ada).

Dokumen Penawaran untuk Pengadaan Jasa Konsultansi disampaikan sesuai metode penyampaian Dokumen Penawaran sekurang-kurangnya terdiri dari:

1) Surat Kuasa (apabila diperlukan).
2) Metode Pelaksanaan.
3) Jadwal waktu pelaksanaan.
4) Daftar personil dan pengalamannya.
5) Daftar Biaya Langsung Personil (Remunerasi) dan Biaya Langsung non personil (*Direct Cost*).
6) Analisis harga satuan (apabila dipersyaratkan).
7) Lampiran lain yang ditentukan dalam Dokumen Pelelangan/RKS.
8) Bukti Penerimaan Addendum Dokumen Pelelangan/RKS (apabila ada).

Apabila salah satu dari syarat lampiran surat penawaran tidak sesuai maka penyedia dinyatakan tidak lulus evaluasi administrasi dan otomatis tidak lulus evaluasi penawaran. Secara otomatis proses lelang dapat gagal.

***Ranking* 5: (X16) Tidak ada dukungan dari pabrikan**

Tidak semua pengadaan barang diperlukan adanya dukungan pabrikan hanya barang tertentu saja terutama yang memiliki kaitan dnegan pekerjaan lain, seperti jaringan dan sebagainya. Dukungan pabrikan diperlukan untuk (Santosa, 2012) :

- Barang yang tidak umum dipasar
- Barang yang harus dipesan terlebih dahulu (*make to order*)
- Barang yang belum diproduksi di dalam negeri/diproduksi diluar negeri
- Barang yang jalur pasoknya sering terganggu
- Barang yang sulit tersedia
- Barang yang sering tidak diproduksi lagi tipenya Penyedia dengan jaminan dari produsen pabrikan jika dipersyaratkan dalam dokumen pengadaan berkewajiban untuk menjamin bahwa selama penggunaan secara wajar, barang tidak mengandung cacat mutu yang disebabkan kelalaian penyedia. Jika hal ini disyaratkan dalam dokumen pengadaan, dan jika penyedia tidak melampirkan maka dapat dipastikan penyedia tidak mampu memenuhi *supply* barang dan pekerjaan tidak selesai. Hal ini akan menyebabkan kegagalan pengadaan.

ISBN 978-602-73461-8-5

3.4 Analisis faktor kegagalan pengadaan dengan fault tree analysis

Langkah 1: Menentukan tujuan yang akan dicapai FTA

Tujuan yang ingin dicapai dengan terbentuknya FTA ini adalah untuk mengetahui penyebab kegagalan pengadaan yang menjadi penyebab utama keterlambatan pengadaan barang dan jasa di PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah – D.I Yogyakarta.

Langkah 2 : Menentukan Top Event

Karena penulis ingin mengetahui sebab-sebab terjadinya kegagalan pengadaan maka Top Event yang dipilih adalah 'Kegagalan Pengadaan'.

Langkah 3 : Menetapkan batasan FTA

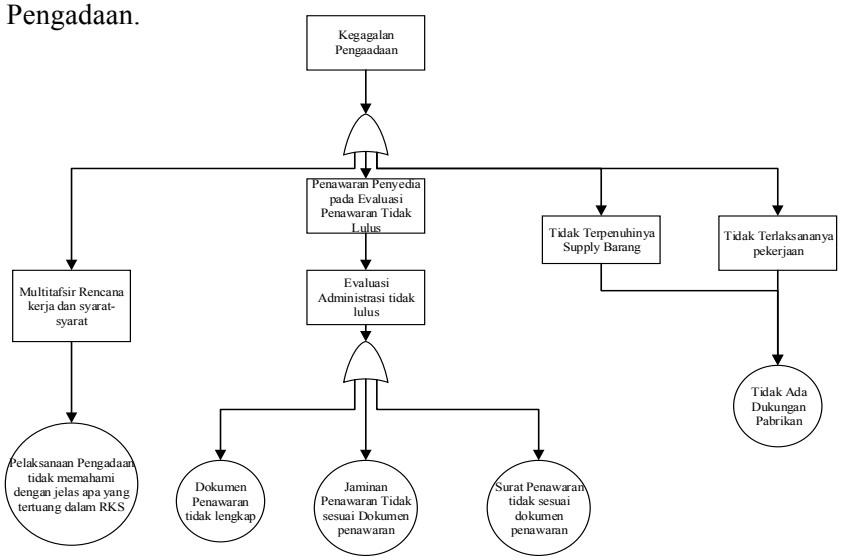
Batasan dalam penyusunan FTA ini meliputi Tujuan sistem, Batasan Fisik, dan Batasan Analitis.

- Kegunaan pembuatan struktur FTA ini adalah untuk meminimalisir peluang terjadinya kegagalan pengadaan dengan mengetahui *event* mendasar yang menyebabkan kegagalan pengadaan tersebut
- Batasan fisik. Pengadaan yang gagal mencakup seluruh kegagalan pengadaan dari tahun 2015 s/d 2016
- Batasan analitis mencakup lima ranking teratas
  event yang menyebabkan kegagalan pengadaan

Langkah 4 : Pembuatan Model Grafis FTA

Dalam pembuatan FTA, akan diselidiki penyebab apa saja yang dapat meng-akibatkan kegagalan pengadaan. Dari semua event yang berpotensi telah diperoleh lima event teratas yang mendasari terjadinya kegagalan pengadaan.

Model grafis FTA mempunyai beberapa simbol kejadian seperti *intermediate event* dan *basic event*. Selain itu, juga ada simbol gerbang dan tranfer. Simbol gerbang yang digunakan adalah simbol gerbang OR karena salah satu saja dari semua penyebab kegagalan pengadaan dapat menyebabkan kegagalan pengadaan (kegagalan dapat terjadi kerena salah satu kejadian atau kejadian itu adalah salah satu faktor dominan). Karena *basic event* telah diketahui, selanjutnya menentukan kemungkinan yang menyebabkan *basic event* sehingga peng-adaan menjadi gagal (adanya *basic event* menyebabkan apa). Selanjutnya kemungkinan tersebut akan didefinisikan sebagai *Intermediate event*. Tetapi hanya dibatasi pada penyebab yang meng-akibatkan kegagalan pengadaan (*Top event*). Model grafis FTA kegagalan pengadaan dapat dilihat pada Gambar 5 *Fault Tree* Kegagalan Pengadaan.



Gambar 5. *Fault tree* kegagalan pengadaan

ISBN 978-602-73461-8-5

3.5 Usulan perbaikan

Usulan perbaikan yang diberikan menggunakan metode 5W+1H. Usulan perbaikan diberi-kan berdasarkan penyebab yang merupakan akar permasalahan yang didapat dari metode FTA.

Tabel 5. Usulan Perbaikan Metode 5W+1H

No	Faktor	What	Why	Where	When	Who	How
1	Jaminan penawaran tidak sesuai dengan dokumen	Penyedia memahami persyaratan Jaminan penawaran	Agar dapat memenuhi ketentuan jaminan penawaran	PT PLN (Persero) Distribusi Jateng-DIY	Selama periode pengadaan berlangsung	Penyedia yang mengikuti pengadaan	Penyedia memahami dengan jelas Prosedur jaminan penawaran serta memilih Bank/ perusahaan asuransi yang mumpuni untuk penerbitkan jaminan penawaran sesuai format PLN dan menjamin keabsahan jaminan
		Perencana dan Pelaksana pengadaan menegaskan poin jaminan penawaran setiap tahap pengadaan	Agar penyedia selalu mengingat dan dapat memenuhi ketentuan	PT PLN (Persero) Distribusi Jateng-DIY	Pembuatan RKS, Aanwijzing hingga pembukaan penawaran	Perencana dan Pelaksana Pengadaan	Perencana menegaskan dalam dokumen pengadaan/RKS terkait format yang harus sesuai (seperti pem-Bold an tulisan atau membuat note khusus) dan pelaksana pengadaan menyampaikan kepada penyedia serta menjelaskan kembali saat penjelasan pengadaan (*Aanwijzing*)
2	Pelaksana pengadaan tidak memahami	Membangun intensitas komunikasi yang	Agar diperoleh satu sudut pandang	PT PLN (Persero) Distribusi Jateng-	Selama periode pengadaan berlangsung	Perencana dan Pelaksana Pengadaan	- Berinisiatif melakukan komunikasi dua arah

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Faktor	What	Why	Where	When	Who	How
	dengan jelas apa yang tertuang dalam RKS	signifikan terkait pengadaan dengan perencana pengadaan	yang sama terkait isi RKS (tidak saling salah paham dan multitafsir)	DIY			terkait proses pengadaan - Perencana pengadaan membuat RKS secara jelas dan Pelaksana pengadaan mengklarifikasi segala keraguan dalam RKS dan tidak melakukan pengambilan kesimpulan secara sepihak (walaupun tidak ada aturan yang membatasi)
3	Dokumen penawaran tidak lengkap	Penyedia melengkapi dokumen penawaran	Agar dokumen penawaran terlengkapi	PT PLN (Persero) Distribusi Jateng-DIY	Sebelum pemasukan dokumen penawaran	Penyedia	Penyedia memahami apa saja yang harus ada dalam Dokumen Penawaran dan melengkapinya sebelum memasukkan dokumen penawaran kepada pelaksana pengadaan
		Pelaksana pengadaan memberikan penjelasan dokumen penawaran	Agar penyedia paham kelengkapan dokumen penawaran	PT PLN (Persero) Distribusi Jateng-DIY	Penjelasan pengadaan (*Aanwijzing*)	Pelaksana pengadaan	Pelaksana pengadaan memberikan penjelasan terkait dokumen penawaran saat penjelasan pengadaan (*Aanwijzing*)
4	Surat Penawaran tidak sesuai	Penyedia meneliti secara detail terkait	Agar penyedia tidak salah menginput	PT PLN (Persero) Distribusi Jateng-	Sebelum pemasukkan dokumen penawaran	Penyedia	Teliti dalam melakukan penginputan substansi surat

ISBN 978-602-73461-8-5

No	Faktor	What	Why	Where	When	Who	How
	dengan dokumen penawaran	substansi surat penawaran	isi surat penawaran	DIY			penawaran agar tidak terjadi kesalahan penginputan
		Pelaksana pengadaan melakukan penegasan format	Agar penyedia menghindari kesalahan penginputan	PT PLN (Persero) Distribusi Jateng-DIY	Penjelasan pengadaan (*Aanwijzing*)	Pelaksana pengadaan	Pelaksana pengadaan memberikan penjelasan terkait dokumen penawaran saat penjelasan pengadaan (*Aanwijzing*)
5	Tidak ada dukungan dari pabrikan	Diluar kontrol Pelaksana Pengadaan karena kaitannya antara Pabrik dan Penyedia. Dukungan pabrikan terlampir dalam RKS dan untuk barang yang pengerjaannya berkaitan dengan pekerjaan lain.					

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari pembahasan sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada periode tahun 2015 sampai dengan tahun 2016 terdapat 5 (Lima) jenis pengadaan mengalami kegagalan pengadaan sehingga terlambat.
2. Dari hasil kuesioner ahli, lima faktor kegagalan tertinggi adalah Jaminan penawaran tidak sesuai dengan dokumen dengan bobot total 0.61618, Pelaksana pengadaan tidak memahami dengan jelas apa yang tertuang dalam RKS dengan bobot total 0.59853, Dokumen penawaran tidak lengkap dengan bobot total 0.58971, Surat Penawaran tidak sesuai dengan dokumen penawaran dengan bobot total 0.57206, dan Tidak ada dukungan dari pabrikan dengan bobot total 0.56765
3. Lima faktor kegagalan yang memiliki bobot tertinggi dilakukan analisa menggunakan *Fault Tree Analysis* untuk mengetahui keseluruhan penyebab masalahnya. Karena diketahui *Top Event* dan *Basic Event* didapatkan 5 faktor yang memungkinkan sebagai *Intermediate Event*, yaitu Multitafsir RKS, penawaran penyedia tidak lulus evaluasi penawaran, tidak terpenuhinya supply barang, dan tidak terselesaikannya pekerjaan.
4. Strategi penanganan permasalahan pemicu kegagalan pengadaan dilakukan dengan 5W+1H seperti pada tabel 5 Usulan Perbaikan Metode 5W+1H

4.2 Saran

1. Untuk penelitian mendatang, pengisian kuesioner dari ahli harus didampingi karena dilakukan pembobotan pada ahli.
2. Faktor-faktor lain penyebab kegagalan pengadaan perlu juga untuk dianalisis menggunakan Fault Tree Analysis agar diketahui keseluruhan penyebabnya.
3. Penelitian mendatang sebaiknya menganalisis juga dari segi keseluruhan prosesnya dengan menggunakan *Value Stream Mapping* agar diketahui secara detail penyebab kegagalan pengadaan dari setiap sisi.

ISBN 978-602-73461-8-5

Daftar Pustaka

Amalia, Ridhati. (2012). Analisa Penyebab Keterlambatan Proyek Pembangunan Sidoarjo Town Square Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA). *Jurnal Teknik ITS, 1(1)*

Anonim. 2010. *Peraturan Presiden Republik Indonesia no.54 tahun 2010 Tentang Pengadaan Barang / Jasa Pemerintah.* Jakarta: CV. Tamita Utama.

Bodnar, H George dan William, S. Hopwood. (2003). *Accounting Information System. Sistem Infromasi Akuntansi Edisi Kedelapan.* Dialih bahasakan oleh Deddy Jacobus. Jakarta : Indeks

Bungin, Burhan. (2010). *Metode Penelitian Kualitatif* . Jakarta : Rajawali Pers.

D. Yuhua and Y. Datao. (2005). Estimation of failure probability of oil and gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 18 (2*), 83–88

Edquist, Hommen, & Tsipouri. (2000).*Public Technology Procurement and Innovation*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Gaspersz, Vincent. (2003) . *Metode Analisis Untuk Peningkatan Kualitas*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama

Husen, Abrar. (2009). *Manajemen Proyek*. Yogyakarta: Andi Offset

Jing GG. (2008). *Digging for the Root Cause*. *ASQ Six Sigma Forum Magazine, 7 (3)*,19 – 24.

Karyasa, INR.(2014). *Analisis Faktor- Faktor Yang Mempengaruhi Gagal Lelang Pengadaan Barang Dan Jasa Pemerintah Secara Elektronik (E-Procurement) Di Kabupaten Badung.* Bandung

Keputusan Direksi No. 317.K/DIR/2012 Tentang Pedoman Pengelolaan Jaminan/Bank Garansi di Lingkungan PT PLN

Keputusan Direksi 0620.K/DIR/2013 Tentang Pedoman Umum Pengadaan Barang/Jasa PT PLN

Latino RJ, Kenneth CL. (2006). *Root Cause Analysis: Improving Performance for Bottom – Line Results*. Florida : CRC Press.

Morphousmedia. (2009). *Teknik Analisis Masalah dengan diagram fishbone.* Diambil dari http://egg-animation.blogspot.com/2009/03/teknik-analisis-masalah-dengan-diagram.html

Nugroho W.P., Susatyo, Pudjotomo, Darminto, Tifani, T.K. (2011). Analisa Penyebab Penurunan Daya Saing Produk Susu Sapi dalam Negeri terhadap Susu Sapi Impor pada Industri Pengolahan Susu (IPS) dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Barrier Analysis. *J@TI Undip, 6(2)*

Pyzdek, Thomas. (2002). *The Six Sigma Handbook*. Jakarta : Salemba Empat

Priyanta, Dwi. (2000). *Keandalan Dan Perawatan*. Surabaya: Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh November

Santosa, Mudji. (2012) . *Dukungan Pabrikan atau Produsen*. Diambil dari Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah : http://www.mudjisantosa.net/2012/09/dukungan-pabrikan produsen _10.html

Vesely ,William. (2002). *Fault Tree Handbook with Aerospace Applications*. Washington: SA Office of Safety and Mission Assurance.

ISBN 978-602-73461-8-5

Usulan Perbaikan Cacat *Over Gap* pada Proses *Lower Sub Assy* Menggunakan Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Hendro Prassetiyo, Arie Desrianty, Muhammad Dimas Triraharjo
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Bandung
Jl. PHH Mustafa No. 23 Bandung
Telp. (022) 7272215
Email: prasshendro@gmail.com

Intisari

PT. Dirgantara Indonesia merupakan perusahaan yang bergerak dalam industry dirgantara dengan salah satu produknya adalah Helicopter Superpuma MK-II EC 225/725. Salah satu part sub assembly terpenting pada bagian pesawat tersebut yaitu Beam Y350 FR 1820 To 3245. Pada saat ini dalam perakitan komponen Beam Y350 FR 1820 To 3245 sering ditemukan adanya kegagalan yang diduga disebabkan oleh factor manusia, mesin dan metoda yang digunakan. Untuk mengurangi jumlah kegagalan perakitan komponen Beam Y350 FR 1820 To 3245, maka dibutuhkan suatu metode yang dapat mendeteksi factor penyebab kegagalan dan memberikan usulan perbaikan yang dapat diimplemtasikan. Pemecahan masalah dilakukan dengan pendekatan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Usulan perbaikan di lantai produksi dapat menurunkan nilai Risk Potential Number (RPN) yang berpotensi untuk mengurangi jumlah produk cacat.

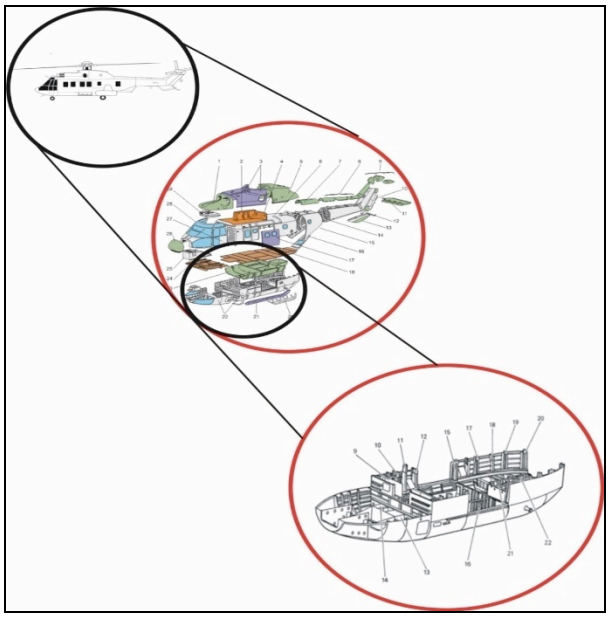
Kata kunci: kegagalan, Root cause analysis, Failure Mode and Effect Analysis, Risk Potential Number

1. Pendahuluan

PT. Dirgantara Indonesia (Persero) merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang industri pesawat terbang militer dan komersil. Industri pesawat terbang ini memproduksi berbagai macam produk seperti pesawat udara, helikopter,dan termasuk komponen-komponen penunjang pesawat. Produk pesawat terbang yang diproduksi pada bagian *Directorate of Assembly* Airbus Helicopter Superpuma MK-II EC 225/725 berjenis helicopter untuk penggunaan militer dengan mesin ganda. Permasalahan yang timbul pada bagian fabrikasi *Directorate of Assembly* Airbus Helicopter Superpuma MK-II EC 225/725 yaitu pada proses *assembly Beam Y350 FR 1820 To 3245* pada bagian Lower *Structure Sub Assy* dengan adanya cacat *over gap*. Letak *lower structure assembly* dapat dilihat pada Gambar 1. Usaha yang telah dilakukan pihak perusahaan untuk mengurangi terjadinya cacat *over gap* belum cukup efektif. Oleh karena itu dibutuhkan penelitian untuk menganalisis dan memberikan usulan perbaikan yang dapat dilakukan untuk mengurangi jumlah cacat *over gap*. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi jumlah cacat adalah dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) (Djunaidi dan Ryantaff, 2018).

Makalah ini akan membahas usulan perbaikan lantai produksi untuk meminimasi cacat *over gap* pada *lower sub assy* menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 1. *Lower Structure Assembly*

2. Metode

Konsep dasar dari *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) sendiri merupakan sebuah metode untuk memeriksa penyebab cacat atau kegagalan yang terjadi selama proses produksi, mengevaluasi prioritas resiko, dan membantu menentukan tindakan yang tepat untuk menghindari masalah identifikasi (Stamatis, 2003). *Failure Mode and Effect Analysis* digunakan secara luas dalam peningkatan mutu dan alat penilaian resiko dalam industri manufaktur, alat ini mengintegrasikan antara pengetahuan manusia dan pengalaman untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dari suatu produk atau proses, mengevaluasi kegagalan suatu produk atau proses beserta efeknya, membantu perekayasa untuk melakukan tindakan perbaikan atau tindakan perventif, dan menghilangkan atau minimal mengurangi terjadinya kegagalan.

Failure Mode and Effect Analysis juga merupakan suatu prosedur terstruktur untuk mengidentifikasi dan mencegah sebanyak mungkin mode kegagalan (Gasperz, 2002). Suatu mode kegagalan adalah apa saja yang termasuk dalam kecacatan atau kegagalan desain, kondisi diluar batas spesifikasi yang telah ditetapkan atau perubahan pada produk yang menyebabkan terganggunya fungsi-fungsi dari produk tersebut. FMEA akan meningkatkan kehandalan dari produk dan pelayanan sehingga meningkatkan kepuasan konsumen akan produk atau pelayanan tersebut. FMEA digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan, yang dapat disebabkan oleh proses produksi, mesin, metode produksi, dengan kedua potensi masalah dapat dipelajari, cacat dapat secara akurat diketahui sebelum produk sampai kepada tangan pelanggan, efek yang ditimbulkan pada operasi dari produk dan mengidentifikasi aksi untuk mengatasi masalah tersebut. Tahapan *Failure Mode and Effect Analysis* (Stamatis, 2003) yaitu:

1. Melakukan pengamatan terhadap proses.
2. Mengidentifikasi *potential failure* atau *mode* kegagalan dari proses yang diamati.
3. Mengidentifikasikan akibat (*potential effect*) yang ditimbulkan *potential failure mode.*
4. Menetapkan nilai *severity* (S). *Severity* merupakan penilaian seberapa serius efek mode kegagalan atau kesalahan akibat cacat dan pengaruhnya terhadap perusahaan. Kriteria *severity rating* menurut Stamatis (2003) dapat dilihat pada Tabel 1.

ISBN 978-602-73461-8-5

5. Mengidentifikasi penyebab (*potential cause*) dari *failure mode* yang terjadi pada proses yang berlangsung.
6. Menetapkan nilai *occurance* (O). *Occurance* menunjukkan nilai keseringan / frekuensi suatu masalah yang terjadi karena *potential cause* dari cacat. Nilai skala *Occurance* menurut Stamatis (2003) dapat dilihat pada Tabel 2.
7. Identifikasi kontrol proses saat ini (*current process control*) yang merupakan deskripsi dari kontrol untuk mencegah kemungkinan sesuatu yang menyebabkan mode kegagalan atau kerugian akibat cacat.
8. Menetapkan nilai *detection* (D), dimana *Detection* menggambarkan seberapa mampu proses kontrol selama ini untuk mendeteksi ataupun mencegah terjadinya mode kegagalan atau kerugian akibat cacat. Nilai skala *Detection* menurut Stamatis (1995) dapat dilihat pada Tabel 3.
9. Nilai RPN (*Risk Potential Number*) didapatkan dengan cara melakukan operasi perkalian antara nilai *severity* (S), *occurance* (O), dan *detection* (D).
10. Nilai RPN menunjukkan keseriusan dari *potential failure,* semakin tinggi nilai RPN maka menunjukkan semakin bermasalah. Tidak terdapat angka acuan RPN untuk melakukan perbaikan.
    Rumusan RPN adalah sebagai berikut :
    $RPN = S \times O \times D$ ..... (1)
11. Segera berikan usulan perbaikan (*recommended action*) terhadap *potential cause,* alat kontrol dan efek yang diakibatkan dari cacat. Prioritas perbaikan pada *failure mode* yang memiliki nilai RPN terpilih.
12. Buat *implementation action plan.* Lalu terapkan.

Ukur perubahan yang terjadi dalam RPN dengan langkah – langkah yang sama seperti dari point (1) hingga (12).

Tabel 1. *Severity rating*

Effect	*Level*	*Criteria*
No	1	*No effect.*
Very slight	2	*Customer not annoyed. Very slight effect on product or system performance.*
Slight	3	*Customer slightly annoyed. Slight effect on product or system performance.*
Minor	4	*Customer experiences minor nuisance. Minor effect on product or system performance.*
Moderate	5	*Customer experiences some dissatisfaction. Moderate effect on product or system performance.*
Significant	6	*Customer experiences discomfort. Product performance degraded, but operable and safe. Partial failure but operable.*
Major	7	*Customer dissatisfied. Product performance severely affected but functionable and safe. System impaired.*
Extreme	8	*Customer very dissatisfied. Product inoperable but safe. System inoperable.*
Serious	9	*Potential hazardous effect. Able to stop product without mishap-time dependent failure. Compliance with government regulation is in jeopardy.*
Hazardous	10	*Hazardous effect. Safety related-sudden failure. Non-compliance with government regulation.*

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 2. Nilai skala *occurance*

Effect	*Level*	*Criteria*
Almost never	1	*Failure unlikely. History shows no failure. (1 in 15,000,000)*
Remote	2	*Rare number of failures likely. (1 in 150,000)*
Very slight	3	*Very few failures likely. (1 in 15,000)*
Slight	4	*Few failures likely. (1 in 2,000)*
Low	5	*Occasional number of failures likely. (1 in 400)*
Medium	6	*Medium number of failures likely. (1 in 80)*
Moderately high	7	*Moderately high number of failures likely. (1 in 20)*
High	8	*High number of failures likely. (1 in 8)*
Very high	9	*Very high number of failures likely. (1 in 3)*
Almost certain	10	*Failure almost certain. History of failure exists from previous or similar designs. (1 in 2)*

Tabel 3. Nilai skala *detection*

Effect	*Level*	*Criteria*
Almost certain	1	*Proven detection methods available in concept stage.*
Very high	2	*Proven computer analysis available in early design stage.*
High	3	*Simulation and/or modelling in early stage.*
Moderately high	4	*Tests on early prototype system dements.*
Medium	5	*Tests on preproduction system components.*
Low	6	*Tests on similar system components.*
Slight	7	*Tests on product with prototypes with system components installed.*
Very slight	8	*Proving durability tests on product with system components installed.*
Remote	9	*Only unproven or unreliable technique(s) available.*
Almost impossible	10	*No known techniques available.*

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Identifikasi *potential failure* dan *potensial effect*

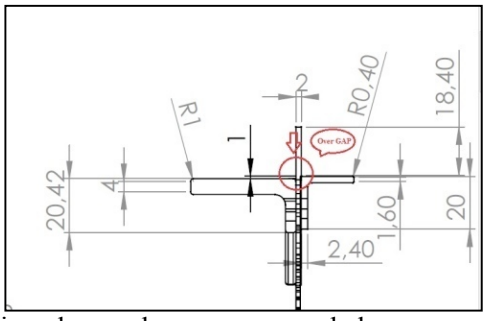
Identifikasi *potential failure mode* merupakan salah satu tahap pada penggunaan metode *failure mode and effect analysis.* Identifikasi ini dilakukan dengan memindai segala kemungkinan timbulnya penyebab kegagalan pada proses *assembly part* pesawat udara *Airbus Helicopter Superpuma*. Identifikasi *potential failure* dan *potential effect* dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan identifikasi *potential failure*, terdapat tiga jenis kegagalan (cacat) yang dapat terjadi pada proses *assembly part* pesawat udara *Airbus Helicopter Superpuma* diantaranya *over gap*, *edge margin*, dan *incorrect distance hole*. Penelitian ini hanya akan berfokus pada cacat *over gap. Over Gap* merupakan salah satu jenis *defect* pada komponen AH *Superpuma* EC 225/725 MK-II. Kesalahan tersebut berupa terdapatnya ukuran letak komponen diluar batas toleransi apabila dibandingkan dengan konfigurasi yang seharusnya berdasarkan DPM dan *Drawing Assembly*. Kesalahan tersebut dapat benar-benar jelas terlihat ketika telah dilakukan proses pemasangan atau proses *assembly.* Umumnya, kesalahan ini terjadi, karena disebabkan oleh 2 atau lebih komponen yang dilakukan proses *assembly.* Contoh cacat *over* gap dapat dilihat pada Gambar 2.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 4. Identifikasi *potential failure*

No.	Komponen / *part*	JID NO	*Process*	*Potential Failure Mode*
1	BEAM Y350, FR X1820 - X3245 (332A2111011202)	20184925	Proses *assembly* menggunakan *rivet* terhadap 3 buah komponen / *part (P/N 332A2111012401) Flange Spar Upper LH, Section Floor, LH (P/N 330A2120354401),* dan *332A2132912001 (Web L.H Beam AT Y350)* menggunakan mesin *rivet hand gun*	Timbul cacat berupa *over GAP* antara komponen *Flange Spar Upper LH* dengan *Section Floor, LH (P/N 330A2120354401)*
2		20184925	Proses *assembly* menggunakan *rivet* terhadap 3 buah komponen / *part (P/N 332A2111012401) Flange Spar Upper LH, Section Floor, LH (P/N 330A2120354401),* dan *332A2132912001 (Web L.H Beam AT Y350)* menggunakan mesin *rivet hand gun*	Timbul cacat berupa *edge margin* pada komponen *BEAM, FR 1820-3245 (P/N 332A2111012401)*
3		20197893	Proses *assembly* menggunakan rivet terhadap 3 buah komponen / *part (P/N 332A2111012401) Flange Spar Upper LH, Section Floor, LH (P/N 330A2120354401),* dan *332A2132912001 (Web L.H Beam AT Y350)* menggunakan mesin *rivet hand gun*	Timbul cacat berupa *Incorrect Distance Hole* pada komponen *Flange Spar Upper LH (P/N 332A2111012401)*



Gambar 2. Skema terjadinya kegagalan *over gap* pada komponen *flange spar, Upper* LH (P/N 332A2111012401)

3.2. Identifikasi *potensial effect*

Identifikasi *potensial Effect* untuk kegagalan *over gap* dapat dilihat pada Tabel 5.

3.3. Nilai *severity*

Nilai *severity* untuk kegagalan *over gap* dapat dilihat pada Tabel 6.

3.4. Penyebab kegagalan

Berikut merupakan diagram pohon yang digunakan untuk mengetahui akar penyebab timbulnya cacat *over gap*. Diagram pohon untuk jenis cacat *over gap* pada komponen *Flange Spar, Upper* LH (P/N 332A2111012401) dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 5. Identifikasi *potential effect*

No.	**Komponen / *part***	**JID NO**	***Process***	***Potential Failure Mode***	***Potential Effect***
1	BEAM Y350, FR X1820 - X3245	20184925	Proses *assembly* menggunakan rivet terhadap 3 buah komponen / *part Flange Spar, Upper LH (P/N*	Timbul cacat berupa *over GAP* antara komponen *Flange Spar, Upper LH*	Mengakibatkan ketidaksesuaian posisi dari pemasangan 3 buah komponen / *part*

ISBN 978-602-73461-8-5

	(332A211101120 2)		*332A2111012401), SECTION FLOOR, LH (P/N 330A2120354401),* dan *332A2132912001 (Web L.H BEAM AT Y350)*menggunakan mesin *rivet hand gun*	(P/N 332A2111012401)dengan SECTION FLOOR, LH (P/N 330A2120354401)	Komponen tidak dapat di *assembly* pada komponen berikutnya Komponen tidak sesuian dengan *detail part manufacturing* dan *drawing assembly* yang diberikan Menimbulkan *bottleneck* pada stasiun kerja *lower structure sub assembly*
2		20184 925	Proses *assembly* menggunakan *rivet* terhadap 3 buah komponen / *part Flange Spar, Upper LH (P/N 332A2111012401), SECTION FLOOR, LH (P/N 330A2120354401),* dan *332A2132912001 (Web L.H BEAM AT Y350)*menggunakan mesin *rivet hand gun*	Timbul cacat berupa *edge margin* pada komponen *Flange Spar, Upper* LH (P/N 332A2111012401)	Mengakibatkan ketidaksesuaian posisi dari pemasangan 3 buah komponen / *part.* Komponen tidak dapat di *assembly* Komponen tidak sesuian dengan *detail part manufacturing* dan *drawing assembly* yang diberikan Menimbulkan *bottleneck* pada stasiun kerja *lower structure sub assembly*
3		20197 893	Proses *assembly* menggunakan rivet terhadap 3 buah komponen / *part Flange Spar, Upper LH (P/N 332A2111012401), SECTION FLOOR, LH (P/N 330A2120354401),* dan *332A2132912001 (Web L.H BEAM AT Y350)*menggunakan mesin *t hand gun*	Timbul cacat berupa *Incorrect Distance Hole* pada komponen *Flange Spar, Upper* LH (P/N 332A2111012401)	Ketidaksesuaian posisi dari pemasangan 3 buah komponen / *part* Menimbulkan adanya *interference to radius* mendekati lengkungan *radius* pada bagian sisi (*side part*) dengan jarak 2,5 mm - 3,5 mm Komponen tidak sesuian dengan *detail part manufacturing* dan *drawing assembly* yang diberikan Lubang pada komponen terhalangi oleh clamping pada *tools* (*jig*) Komponen tidak dapat di *assembly* Menimbulkan *bottleneck* pada stasiun kerja *lower structure sub assembly*

3.5. Penentuan nilai *occurance*

Occurrence merupakan suatu kemungkinan apabila penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa penggunaan produk. Perkiraan kemungkinan *occurrance* terdapat pada tingkatan yang disusun beredasarkan skala 1 hingga 10. Nilai *Occurrence* untuk kegagalan *over gap* dapat dilihat pada Tabel 6.

3.6. *Current process Control*

Identifikasi kontrol proses saat ini (*current process control*) yang merupakan deskripsi dari upaya yang telah dilakukan perusahaan untuk mencegah kemungkinan sesuatu yang menyebabkan mode kegagalan atau kerugian akibat cacat, namun belum memiliki dampak yang signifikan. Tabel 7 menujukkan *current process control* untuk kesalahan akibat *over Gap*.

ISBN 978-602-73461-8-5

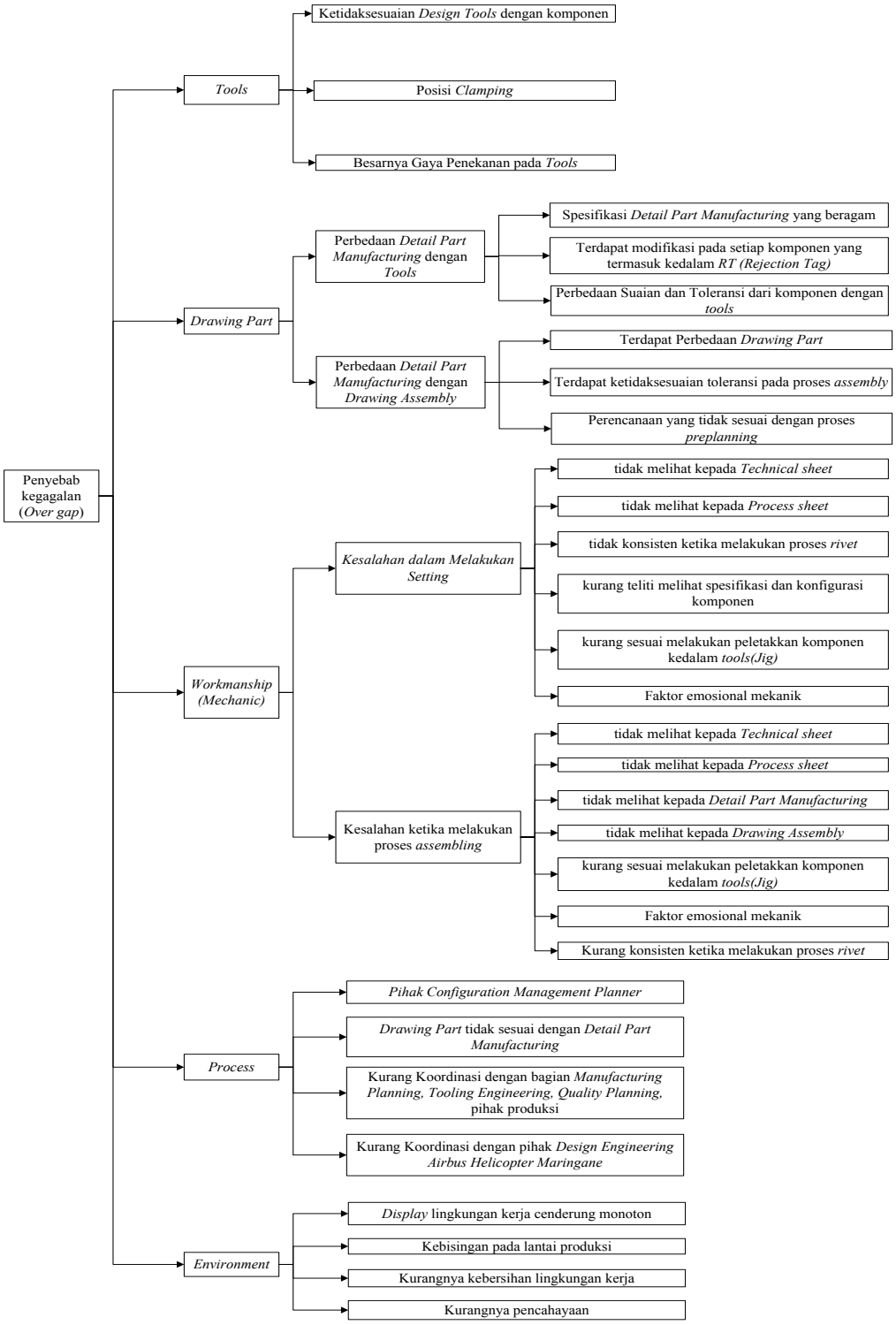
3.7. Nilai *Detection*

Detection merupakan pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan/ mengontrol kegagalan yang dapat terjadi. Nilai *Detection* untuk kegagalan *over gap* dapat dilihat pada Tabel 6.

3.8. Nilai *Risk Priority Number* (RPN)

Risk Priority Number (RPN) merupakan produk matematis dari keseriusan *effect (Severity),* probabilitas terjadinya *cause* dapat menimbulkan kegagalan yang berintegrasi dengan *effect* (*Occurrence*), dan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan(*Detection*). Nilai RPN untuk kegagalan *over gap* dapat dilihat pada Tabel 6.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 3. Diagram Pohon untuk jenis cacat *over GAP* pada komponen *flange spar, Upper* LH (P/N 332A2111012401)

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 6. Nilai *Severity*, *Occurrence*, *Detection* dan RPN untuk kesalahan akibat *over Gap*

No.	*Potential Cause*	*Severity Rating*	*Occurance Rating*	*Detection Rating*	*Risk Priority Number*	*percentage* RPN	*Cumulative Percentage* RPN
1	Mekanik tidak melihat kepada *drawing assembly* yang telah diberikan	8	10	9	720	5,71%	5,71%
2	Perbedaan suaian toleransi dari komponen / *part* dengan *tools*	9	9	8	648	5,14%	10,86%
3	Akibat perencanaan yang tidak sesuai proses *preplanning*	10	8	8	640	5,08%	15,94%
4	Mekanik tidak melihat kepada *technical sheet* yang telah diberikan	7	10	9	630	5,00%	20,93%
5	Mekanik tidak melihat kepada *process sheet* yang telah diberikan	7	10	9	630	5,00%	25,93%
6	Mekanik tidak melihat kepada *detail part manufacturing* yang telah diberikan	7	10	9	630	5,00%	30,93%
7	Besarnya gaya penekanan yang kurang kuat pada proses *clamping* dalam mencekam komponen / part	8	8	9	576	4,57%	35,51%
8	Terdapat modifikasi pada setiap komponen / part yang mengalami RT (*Rejection Tag*)	9	8	8	576	4,57%	40,08%
9	Faktor emosional mekanik (Assembly)	9	9	7	567	4,50%	44,58%
10	Mekanik kurang sesuai dalam meletakkan komponen / part yang akan di *assembly* kedalam *tools*	8	10	7	560	4,44%	49,02%
11	Terdapat ketidak sesuaian toleransi pada proses *assembly*	10	9	6	540	4,29%	53,31%
12	Kurang koordinasi dengan pihak *design engineering* dari *Airbus Helicopter Maringane*	7	8	9	504	4,00%	57,30%
13	Mekanik tidak konsisten dalam melakukan proses *rivet*	7	10	7	490	3,89%	61,19%
14	Mekanik kurang teliti melihat spesifikasi komponen	7	10	7	490	3,89%	65,08%
15	Terdapat perbedaan *drawing part*	10	8	6	480	3,81%	68,89%
16	*Design tools* tidak sesuai dengan komponen/ part	8	7	8	448	3,56%	72,45%
17	Kurang koordinasi dengan pihak *Manufacturing Planning, Tooling Engineering*, dan *Quality Planning*,	7	8	8	448	3,56%	76,00%

ISBN 978-602-73461-8-5

No.	*Potential Cause*	*Severity Rating*	*Occurance Rating*	*Detection Rating*	*Risk Priority Number*	*percentage* RPN	*Cumulative Percentage* RPN
	dan pihak produksi.						
18	Spesifikasi *detail part manufacturing* komponen / part yang berbeda - beda	9	8	6	432	3,43%	79,43%
19	*drawing part* tidak sesuai dengan *detail part manufacturing*	9	8	6	432	3,43%	82,86%
20	Mekanik tidak konsisten dalam melakukan proses *rivet*	6	10	7	420	3,33%	86,19%
21	*Posisi Clamping* pada tools menghalangi lubang komponen yang akan di rivet	7	8	7	392	3,11%	89,30%
22	*Faktor emosional mekanik (Setting)*	6	9	7	378	3,00%	92,30%
23	*Kesalahan pihak manajemen perencanaan (Configuration Management Planner)*	7	6	8	336	2,67%	94,97%
24	*Kebisingan pada lantai produksi yaitu sekitar (± 105,6 dBA)*	5	10	6	300	2,38%	97,35%
25	*Kebersihan pada lingkungan kerja yang kurang*	2	9	7	126	1,00%	98,35%
26	*Pencahayaan yang kurang yaitu sekitar (189,4 lux)*	2	9	6	108	0,86%	99,21%
27	*Display lingkungan kerja yang cenderung monoton*	5	10	2	100	0,79%	100,00%

Tabel 7. *Current process control* untuk kesalahan akibat *over Gap*

Komponen / *Part*	JID No.	*Potential Failure Mode*	*Potential Cause*	*Prevention*
BEAM Y350, FR X1820 - X3245 (332A2111011202)	20184925	Timbul cacat berupa over GAP antara komponen BEAM Y350, FR X1820 - X3245 dengan SECTION FLOOR, LH (P/N 330A2120354401)	*Design tools* tidak sesuai dengan komponen/ *part*	Mekanik melihat kembali *drawing assembly* dan *drawing part*komponen
			Posisi *Clamping* pada *tools* menghalangi lubang komponen yang akan di rivet	sebagian clamping dibuka karena menghalangi lubang komponen dan tidak menyangga komponen
			Besarnya gaya penekanan yang kurang kuat pada proses *clamping* dalam mencekam komponen / part	memberikan *sealent*untuk memperhalus pergerakan engsel pada *clamping*
			Spesifikasi *detail part manufacturing*komponen / *part* yang berbeda - beda	analisis berdasarkan drawing CATIA
			Terdapat modifikasi pada setiap komponen / *part* yang mengalami RT (*Rejection Tag*)	analisis desain berdasarkan drawing CATIA, pada kondisi aktual lakukan pengukuran seberapa besar penyimpangan yang terjadi lalu bandingkan dengan toleransi dan suaian berdasarkan ketentuan ASN dan ASNA (Aerospatiale).
			Perbedaan suaian toleransi dari komponen / part dengan tools	

ISBN 978-602-73461-8-5

Komponen / *Part*	JID No.	*Potential Failure Mode*	*Potential Cause*	*Prevention*
			Terdapat perbedaan *drawing part*	analisis berdasarkan drawing CATIA, dan lembar kerja demande d' accord
			Terdapat ketidak sesuaian toleransi pada proses assembly	analisis desain berdasarkan drawing CATIA, pada kondisi aktual lakukan pengukuran seberapa besar penyimpangan yang terjadi lalu bandingkan dengan toleransi dan suaian berdasarkan ketentuan ASN dan ASNA (Aerospatiale).
			Akibat perencanaan yang tidak sesuai proses preplanning	analisis desain berdasarkan drawing CATIA,dan lembar kerja demande d' accord
			Mekanik tidak melihat kepada technical sheet yang telah diberikan	
			Mekanik tidak melihat kepada process sheet yang telah diberikan	
			Mekanik tidak konsisten dalam melakukan proses rivet	
			Mekanik kurang teliti melihat spesifikasi komponen	pihak supervisor melakukan controling di saat tertentu terhadap kinerja mekanik pada lantai produksi
			Mekanik kurang sesuai dalam meletakkan komponen / part yang akan di assembly kedalam tools	
			Faktor emosional mekanik	
			Mekanik tidak melihat kepada *detail part manufacturing* yang telah diberikan	
			Mekanik tidak melihat kepada *drawing assembly* yang telah diberikan	
			Kesalahan pihak manajemen perencanaan (*Configuration Management Planner*)	Melakukan rapat koordinasi ketika timbul kendala pada lantai produksi *assembly*
			Drawing part tidak sesuai dengan *detail part manufacturing*	*Quality engineering* menganalisis berdasarkan *drawing CATIA* dan mengajukan tindakan perbaikan segera
			Kurang koordinasi dengan pihak Manufacturing Planning, Tooling Engineering, dan Quality Planning, dan pihak produksi.	Melakukan rapat koordinasi ketika timbul kendala pada lantai produksi *assembly*
			Kurang koordinasi dengan pihak design engineering dari Airbus Helicopter Maringane	
			Display lingkungan kerja yang cenderung monoton	*Display* lingkungan kerja sudah baik dan informatif (himbauan, peringatan penggunaan APD, K3LH), belum dilakukan evaluasi terhadap pemilihan warna *display* lingkungan kerja (dinding ruangan)
			Kebisingan pada lantai produksi yaitu sekitar (± 105,6 dBA)	Pengendalian proses untuk *potential cause* berdasarkan segi kebisingan masih kurang, mekaik melakukan proses *assembly* tanpa perangkat APD lengkap.
			Kebersihan pada lingkungan kerja yang kurang	Pengendalian proses terhadap kebersihan

ISBN 978-602-73461-8-5

Komponen / *Part*	JID No.	*Potential Failure Mode*	*Potential Cause*	*Prevention*
				lingkungan kerja masih belum baik.
			Pencahayaan yang kurang yaitu sekitar (189,4 lux)	Belum dilakukan pengendalian proses untuk potential cause berdasarkan segi pencahayaan.

3.9. Usulan perbaikan

Dari Tabel 6, penyebab yang paling berpotensial dapat menimbulkan over Gap ditentukan berdasarkan diagram pareto, bila mengikuti aturan dari diagram pareto dapat diketahui bahwa 80% kerugian menimbulkan terjadinya ketidaksesuaian over Gap. Usulan perbaikan dan dampak yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 8.

3.10. Nilai *Risk Priority Number* (RPN) perbaikan

Rekapitulasi perbaikan nilai RPN merupakan suatu hasil perbandingan berupa penurunan antara nilai RPN baru setelah dilakukan usulan perbaikan dan implementasi tindakan perbaikan dengan RPN lama. Rekapitulasi perbaikan RPN dapat dilihat pada Tabel 9. Berdasarkan rekapitulasi tabel perbaikan RPN, diketahui bahwa dari 14 penyebab yang paling berpotensi menimbulkan kerugian (*potential cause*), apabila dilakukan simulasi perbaikan dan usulan perbaikan diterapkan, maka terjadi penuruan nilai *Risk Priority Number* dari kondisi aktual dan setelah perbaikan sebesar ± 69% hingga 98%.

4. Kesimpulan dan Saran

Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dapat mengidentifikasi *potential failure* pada proses *assembly part* pesawat udara *Airbus Helicopter Superpuma* diantaranya cacat *over gap* dengan nilai RPN 100 s/d 720. Setelah dilakukan perbaikan terhadap penyebab kegagalan, terjadi penurunan RPN menjadi sebesar 8 s/d 180.

Daftar Pustaka

Gaspersz, Vincent. (2002). Total Quality Management. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Much. Djunaidi, Much dan Ryantaffy, Andrew Krishna (2018), Analisis *Nonconforming Part* pada *Wing Structure* Pesawat CN-235 dengan Menggunakan Metode FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*), J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri, Vol. 13, No. 2

Stamatis, D.H., 2003, *Failure Mode and Effect Analysis*: FMEA *from Theory to Excecution,* ASQ Quality Press, Milwaukee.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 8. Usulan perbaikan dan dampak yang terjadi

No.	*Potential Cause*	Perbaikan	Dampak yang terjadi
1	Mekanik tidak melihat kepada *drawing assembly* yang telah diberikan	• Melakukan *controling* terhadap kinerja mekanik pada lini perakitan ketika melakukan proses *assembling* secara berkala • Perbaikan SOP proses prosedur pengerjaan proses *assembling*	• Apabila spesifikasi tidak sesuai maka komponen tersebut tidak langsung dikategorikan produk *scrap* tapi dapat diantisipasi oleh pihak *design engineering* dengan tindakan pencegahan segera. • Dengan melakukan proses *controling* yang lebih intensif dari *supervisor* maupun pihak *quality control,* disertai dengan penambahan *display* berisi informasi yang menunjang kinerja mekanik, frekuensi terjadinya kesalahan dapat berkurang menjadi hanya $\pm$ sekali dalam 3 bulan
2	Perbedaan suaian toleransi dari komponen / part dengan *tools*	• Melakukan analisis *design* berdasarkan drawing CATIA pada kondisi aktual, lalu dengan kondisi seharusnya (ideal) • Perbaikan proses kontrol pemasangan *clamping* dan *stopper* pada *tools*	Komponen yang tidak memenuhi spesifikasi tidak langsung dikategorikan produk *scrap* tapi dapat diantisipasi oleh pihak *design engineering* dengan tindakan pencegahan segera
3	Akibat perencanaan yang tidak sesuai proses *pre-planning*	• Pihak *design engineering* menganalisis secara lebih rinci *design* berdasarkan *drawing* CATIA untuk komponen *sub assembly BEAM Y350, FR X1820-X3245*	Sama dengan dampak untuk solusi (2)
4,5,6	Mekanik tidak melihat kepada *technical sheet*, *process sheet* dan *Detail Part Manufacturing* yang telah diberikan	• Melakukan *controling* terhadap kinerja mekanik pada lini perakitan ketika melakukan proses *assembling* secara berkala • Perbaikan SOP proses prosedur pengerjaan proses *assembling*	Dengan diterapkannya *control chart* maka komponen yang tidak sesuai dengan konfigurasi akan diketahui dan ditanggapi dengan segera.
7	Besarnya gaya penekanan yang kurang kuat pada proses *clamping* dalam mencekam komponen / *part*	• Mengganti *tools* (*jig*) yang digunakan • Membuat jadwal perawatan	Dengan melakukan proses perawatan secara rutin dan penggunaan *tools* yang tepat kondisi mesin akan selalu dalam keadaan terkendali..
8	Terdapat modifikasi pada setiap komponen / part yang mengalami RT (*Rejection Tag*)	*Supervisor,* maupun pihak *Quality Control* perlu melakukan pengecekkan ulang menggunakan *check sheet,* apabila terjadi perubahan *technical sheet, process sheet* dari bagian pre-planning, upayakan untuk menyesesuaikannya dengan *Detail Part Manufacturing* serial *assembly,* sebelum komponen diproduksi dan turun ke lini perakitan	Komponen yang mengalami modifikasi dapat diantisipasi oleh pihak *design engineering* dengan tindakan pencegahan segera
9	faktor emosional mekanik *(assembly*)	Kondisi saat ini proses pemeriksaan terhadap hasil *assembly* hanya dilakukan sekali-sekali dan masih bersifat konvensional (manual) maka perlu diadakannya perbaikan yaitu, *Supervisor,* maupun pihak *Quality Control* perlu melakukan pemeriksaan kembali menggunakan *control chart* terhadap komponen yang di *rivet* agar dapat terdeteksi bila terdapat komponen yang	
10	Mekanik kurang sesuai dalam meletakkan komponen/ *part* yang		Sama dengan dampak untuk solusi (4,5,6)

ISBN 978-602-73461-8-5

No.	*Potential Cause*	Perbaikan	Dampak yang terjadi
	akan di *assembly* kedalam *tools*	tidak sesuai dengan konfigurasi dan dapat dilakukan tanggapan segera begitu kondisi di luar normal sebelum nantinya di periksa oleh bagian *Quality Assurance*	
11	Terdapat ketidak sesuaian toleransi pada proses *assembly*	Kurang optimalnya proses analisis yang dilakukan oleh pihak *design engineering* dari pihak PT.DI maupun *design engineering* dari pihak AH *Maringane France* menjadi salah satu kunci timbulnya kesalahan yang cukup kritis dan perlu dilakukan tindakan perbaikan berupa, kedua pihak tersebut perlu menganalisis kembali *design* berdasarkan *drawing* CATIA pada kondisi aktual dan mengukur seberapa besar penyimpangan yang terjadi, lalu membandingkan dengan toleransi dan suaian berdasarkan ketentuan ASN dan ASNA	Pada kondisi awal, pemeriksaan dilakukan secara manual dan perbaikan dilakukan hanya sebatas tindakan pencegahan untuk jangka pendek saja, bila diterapkan peta kendali (*control chart*) dalam perbaikan proses dan dilakukan monitor secara rutin maka, kerusakan jelas dapat disembunyikan dikarenakan pemilihan jenis suaian sudah mengalami perbaikan.

Tabel 8. Usulan Perbaikan dan Dampak yang Terjadi (Lanjutan)

No.	*Potential Cause*	Perbaikan	Dampak yang terjadi
12	Kurang koordinasi dengan pihak *design engineering* dari *Airbus Helicopter Maringane*	Melakukan rapat koordinasi dengan pihak *design engineering* dari *Airbus Helicopter Maringane* secara berkala (minimal setiap seminggu sekali) untuk melakukan evaluasi sekaligus monitoring	Sama dengan dampak untuk solusi (2)
13	Mekanik tidak konsisten dalam melakukan proses *rivet*	Melakukan pengecekan terhadap pemasangan *clamping* dan letak *stopper* pada *tools,* proses pengecekan disarankan berorientasi kedalam penentuan 12 arah gaya agar kondisi dari *part* terhadap *tools* menjadi *foolproof*	Dengan dilakukannya perbaikan maka kesalahan dapat dihindarkan. Hal ini menjadikan penurunan tingkat kesalahan dari sebelumnya menjadi terkategori dalam *rating* 2 yaitu minimal hanya terjadi gangguan minor pada lini produksi (timbul *dent* atau *toolmark*), dan apabila spesifikasi tidak sesuai maka komponen tersebut tidak langsung dikategorikan produk *scrap* tapi dapat diantisipasi oleh pihak *design engineering* dengan tindakan pencegahan segera.
14	Mekanik kurang teliti melihat spesifikasi komponen		
15	Terdapat perbedaan *drawing part*	Sama dengan solusi point (11)	Sama dengan dampak untuk solusi (11)
16	*Design tools* tidak sesuai dengan komponen/ *part*	Sama dengan solusi point (2)	Sama dengan dampak untuk solusi (2)
17	Kurang koordinasi dengan pihak *Manufacturing Planning, Tooling*	Melakukan suatu penjadwalan rapat koordinasi antara manajemen perencanaan (*Configuration Management Planner*) dengan pihak *Manufacturing planning, tools engineering, quality*	Sama dengan dampak untuk solusi (13) dan (14)

ISBN 978-602-73461-8-5

No.	*Potential Cause*	Perbaikan	Dampak yang terjadi
	Engineering, dan *Quality Planning*, dan pihak produksi.	*planning* dan pihak produksi secara berkala ± seminggu sekali dan upayakan dilakukan secara konsisten, untuk melakukan evaluasi sekaligus monitoring	
18	Spesifikasi *Detail Part Manufacturing* komponen / part yang berbeda-beda	Sama dengan solusi point (2)	Sama dengan dampak untuk solusi (2)
19	*Drawing part* tidak sesuai dengan *Detail Part Manufacturing*		

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 9. Rekapitulasi tabel perbaikan RPN *Over Gap*

No.	*Potential Cause*	S	O	D	*RPN* Aktual	S	O	D	*RPN* Perbaikan	*Percentage*
1	Mekanik tidak melihat kepada *drawing assembly* yang telah diberikan	8	10	9	720	3	6	4	72	Turun 90%
2	Perbedaan suaian toleransi dari komponen / part dengan *tools*	9	9	8	648	2	6	4	48	Turun 93%
3	Akibat perencanaan yang tidak sesuai proses *pre-planning*	10	8	8	640	3	6	4	72	Turun 89%
4,5,6	Mekanik tidak melihat kepada *technical sheet*, *process sheet* dan *Detail Part Manufacturing* yang telah diberikan	7	10	9	720	3	6	4	60	Turun 89%
7	Besarnya gaya penekanan yang kurang kuat pada proses *clamping* dalam mencekam komponen / *part*	8	8	9	576	6	6	5	180	Turun 69%
8	Terdapat modifikasi pada setiap komponen / part yang mengalami RT (*Rejection Tag*)	9	7	8	576 504	4	6	5	120	Turun 76%
9	faktor emosional mekanik *(assembly*)	9	9	7	567	3	6	4	60	Turun 87%
10	Mekanik kurang sesuai dalam meletakkan komponen / *part* yang akan di *assembly* kedalam *tools*	8	10	7	560	3	6	3	54	Turun 90%
11	Terdapat ketidak sesuaian toleransi pada proses *assembly*	10	9	6	540	2	6	1	8	Turun 98%
12	Kurang koordinasi dengan pihak *design engineering* dari *Airbus Helicopter Maringane*	7	8	9	504	2	6	4	48	Turun 90%
13	Mekanik tidak konsisten dalam melakukan proses *rivet*	7	10	7	490	3	6	3	54	Turun 89%
14	Mekanik kurang teliti melihat spesifikasi komponen									
15	Terdapat perbedaan *drawing part*	10	8	6	480	2	6	3	36	Turun 93%
16	*Design tools* tidak sesuai dengan komponen/ *part*	8	7	8	448	3	6	5	90	Turun 80%
17	Kurang koordinasi dengan pihak *Manufacturing Planning, Tooling Engineering*, dan *Quality Planning*, dan pihak produksi.	7	8	8	448	2	6	4	48	Turun 89%
18	Spesifikasi *Detail Part Manufacturing* komponen / part yang berbeda-beda	9	8	6	432	2	6	3	36	Turun 92%
19	*Drawing part* tidak sesuai dengan *Detail Part Manufacturing*									

ISBN 978-602-73461-8-5

Pengembangan *Lean Healthcare Assessment Tool* pada Rumah Sakit

I G. B. Budi Dharma*, Dimas Ugroseno
Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Unversitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2 Bulaksumur, Yogyakarta
*E-mail: budi.dharma@ugm.ac.id

Intisari

Minimnya pengetahuan manajemen rumah sakit terhadap kondisi rumah sakit dan urgensi penerapan lean, serta belum adanya tool standar assessment menyebabkan banyak rumah sakit di Indonesia belum memahami dan menerapkan proses assessment lean pada proses pelayanan kesehatannya. Pada penelitian ini dikembangkan assessment tool penerapan lean healthcare dengan mengadopsi konsep lean yang sudah umum diterapkan di bidang manufaktur. Dilakukan proses transformasi lean manufacture assessment tool menjadi lean health care assessment tool. Pengembangan lean healthcare assessment tool dasar berdasarkan dua lean manufacture assessment tool yakni Lean Enterprise Self - Assessment Tool (LESAT) dan Strategos Lean Assessment Tool (SLAT). Proses transformasi dan seleksi poin pertanyaan disesuaikan persepsi dan relevansi kondisi rumah sakit saat ini menurut pandangan tenaga kesehatan yang bekerja di rumah sakit tersebut. Hasil penelitian ini menghasilkan assessment tool yang berisi 52 pernyataan penilaian yang dibagi menjadi 3 kategori dan 15 sub-kategori.

Kata kunci : lean healthcare, assessment tool, lean enterprise self - assessment tool, strategos lean assessment tool

1. Pendahuluan

Pada tahun 2000, konsep *lean* yang umumnya ada di bidang manufaktur mulai dibawa ke dunia kesehatan dengan membawa nama *lean healthcare* yang memiliki dua fokus yakni peningkatan efisiensi dan eliminasi terkait pemborosan pada dunia kesehatan (D'Adreamatteo, 2015). Terdapat tiga tantangan dalam menerapkan *lean healthcare* yakni, (1) kondisi rumah sakit tidak diketahui oleh pihak manajemen secara detail sehingga perbaikan tidak dapat dilakukan secara maksimal (2) manajemen rumah sakit tidak mengetahui kebermanfaatan dari penerapan *lean healthcare* (Graban, 2016), dan (3) transformasi rumah sakit menuju *lean healthcare* membutuhkan tenaga dan biaya lebih yang harus dikeluarkan (Mazzocato, 2012; LaGanga, 2011; Castaldi dkk, 2016).

Indonesia, di bidang kesehatan, *assessment tool* yang berfokus pada *lean healthcare* belum banyak dikembangkan, sedangkan mutu pelayanan kepada pasien di rumah sakit dijaga dengan menerapkan standar yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Penerapan standar oleh rumah sakit dinilai secara berkala dengan menggunakan instrumen penilaian Standar Nasional Akreditasi Rumah Sakit (SNARS).

Dalam bidang manufaktur, penerapan lean dapat dilakukan dengan menggunakan assessment tool antara lain, (1) *Strategos Lean Assessment Tool* (LESAT) (Lee, 2004), dan (2) *Lean Enterprise Self-Assessment Tool* (SLAT) (MIT, 2001). Kedua *lean assessment tool* tersebut dapat membantu manajemen perusahaan untuk menilai kondisi perusahaan secara lebih mudah, terukur dan menyeluruh sehingga perbaikan dan penerapan lean dapat terus dilakukan. LESAT merupakan *tool* yang dikembangkan oleh

ISBN 978-602-73461-8-5

Massachusettes Institute of Technology yang berkolaborasi dengan Warwick Manufacturing Group dari University of Warwick. Tool ini membagi parameter lean menjadi tiga kategori yakni, (1) aspek kepemimpinan, (2) aspek proses *life-cycle*, dan (3) aspek infrastruktur. Setiap kategori memiliki sub-kategori dan pertanyaan terkait tingkat penerapan *lean*. Pada LESAT total terdapat 3 kategori, 15 sub-kategori dan 55 pertanyaan. Sedangkan SLAT merupakan tool yang dikembangkan oleh Lee Q (2004) dengan mempertimbangkan sembilan area penting dalam manufaktur.

Sehingga dalam penelitian ini dilakukan kombinasi kedua *lean assessment tool* di bidang manufaktur tersebut dan proses konversinya dilakukan dengan mengacu pada parameter *lean healthcare* yang telah dikembangkan oleh Gabran (2016).

2. Metode

Kombinasi assessment tool dilakukan dengan dua langkah yakni, (1) pemilihan kategori dan sub-kategori yang digunakan, dan (2) transformasi poin pertanyaan. Pemilihan kategori dan sub-kategori dari SLAT dan LESAT kemudian disesuaikan dengan parameter lean healthcare. Pernyataan penilaian diterjemahkan menjadi bahasa Indonesia dan kemudian divalidasi oleh tenaga kesehatan di rumah sakit dengan cara observasi dan wawancara. Observasi ditujukan untuk melihat kemungkinan penerapan poin pertanyaan terhadap kondisi di rumah sakit dan wawancara dilakukan untuk memastikan poin pertanyaan relavan dan dimengerti oleh tenaga kesehatan.

Pengembangan assessment tool pada penelitian ini masih berfokus pada persepsi tenaga kesehatan saat ini, sehingga poin-poin pernyataan penilaian yang tidak dipahami atau dianggap kurang relevan tidak digunakan. Jenis rumah sakit yang digunakan sebagai obyek *assessment* ada dua rumah sakit yang berbeda tipe. Kedua rumah sakit tersebut memiliki perbedaan karakteristik yang ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Tipe rumah sakit yang digunakan sebagai obyek assessment

Kode RS	Tipe RS	Jenis RS	Tingkat Akreditasi	Jumlah tempat tidur	Jumlah tenaga medis	Jumlah tenaga non-medis
RS.1	C	RSU	Dasar	<100	<100	<100
RS.2	B	RSU	Paripurna	>150	>250	>150

Assessment tool yang telah melalui pengembangan divalidasi dan uji reliabilitas sebelum digunakan untuk menilai rumah sakit. Hasil penilaian rumah sakit dengan *lean healthcare assessment tool* ini kemudian dibandingkan dengan SNARS.

3. Hasil dan Pembahasan

Kategori atau sub-kategori yang dimiliki oleh LESAT dan SLAT dipadankan dengan parameter *lean health system* dengan menganalsis kesesuaian poin-poin pernyataan penilaian dengan diskripsi penjelasan pada setiap kedelapan parameter *lean health system*. Sub-kategori yang memiliki kesesuaian dengan parameter *lean health system* diberikan tanda centang dan digunakan dalam pengembangan assessment tool. Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan analisis kesesuaian sub-kategori LESAT dan SLAT secara berurutan terhadap parameter *lean health system*.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 2. Analisis kesesuaian LESAT dengan parameter *Lean Health System*

No	*Assessment Tool*	Kategori	Sub-kategori	Parameter *Lean Health System*							
				Strategy	*Management System*	*Patients*	*Employees*	*Waste*	*Kaizen*	*Technology*	*Infrastructure*
1	*Lean Enterprise Self-Assessment Tool* ver.1.0	*Lean Transformation / Leadership*	*Enterprise Strategic Planning*	✓		✓					
			Adopt Lean Paradigm		✓		✓				
			Focus on the Value Stream		✓		✓				
			Develop Lean Structure & Behavior	✓	✓		✓				
			Create & Refine Transformation Plan	✓	✓		✓				
			Implement Lean Initiatives	✓	✓						
			Focus on Continuous Improvement	✓			✓				
		Life-Cycle Process	*Business Acquistion and Program Management*	✓			✓				✓
			Requirements Definition		✓					✓	
			Develop Product & Process	✓		✓					
			Manage Supply Chain	✓						✓	
			Produce Product				✓			✓	
			Distribute & Service Product		✓	✓					
		Enabling Infrastructure	*Lean Organizational Enablers*		✓	✓				✓	✓
			Lean Process Enablers			✓				✓	✓

Tabel 3. Analisis kesesuaian SLAT dengan parameter Lean Health System

No	*Assessment Tool*	Sub-kategori	Parameter *Lean Health System*							
			Strategy	*Management System*	*Patients*	*Employees*	*Waste*	*Kaizen*	*Technology*	*Infrastructure*
2	*Strategos Lean Assessment Tool*	*The Team Approach*		✓		✓	✓			
		Processes	✓	✓	✓				✓	
		Maintenance		✓						✓
		Layout & Handling					✓	✓		
		Suppliers		✓						✓
		Setup				✓				
		Quality			✓	✓				
		Scheduling/Control			✓	✓		✓		
		Inventory		✓			✓			✓

Setelah dilakukan proses konversi ke bahasa Indonesia dan proses iteratif untuk memvalidasi poin-poin pernyatan ke tenaga kesehatan di dua rumah sakit yang telah dipilih, maka didapatkan konsep *lean healthcare assessment tool* yang terbagi menjadi tiga kategori yakni (1) kategori A yang terkait dengan *leadership*, (2) kategori B yang terkait dengan proses pelayanan, dan (3) kategori C yang terkait dengan infrastruktur. Masing-masing kategori tersebut dibagi menjadi beberapa sub-kategori yang mengandung beberapa pernyataan penilaian yang detailnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kategorisasi *lean healthcare assessment tool*

Kategori	Sub-Kategori	Jumlah Pernyataan
(A) Leadership	A.1 : Perencanaan Strategis Rumah Sakit	3
	A.2 : Penerapan Pola Pikir Lean	3
	A.3 : Berfokus pada Value Stream	3

ISBN 978-602-73461-8-5

Kategori	Sub-Kategori	Jumlah Pernyataan
(B) Proses Pelayanan	A.4 : Pengembangan Struktur & Budaya Berdasarkan Konsep Lean	9
	A.5 : Perbaikan Strategi Pengembangan Rumah Sakit	4
	A.6 : Implementasi Inisiatif Penerapan Budaya Lean	1
	A.7 : Berfokus pada Continuous Improvement	2
	B.1 : Program Manajemen Rumah Sakit	3
	B.2 : Mendefinisikan Kebutuhan Rumah Sakit	2
	B.3 : Pengembangan Pelayanan dan Alur Penanganan Pasien	3
	B.4 : Mengelola Jaringan Supply Chain	3
	B.5 : Hasil Pelayanan Pasien	3
	B.6 : Distribusi dan Pelayanan Medis	2
(C) Infrastruktur	C.1 : Penerapan Konsep Lean pada Organisasi Rumah Sakit	4
	C.2 : Penerapan Konsep Lean pada Proses Pelayanan	7

Pada Tabel 5 merupakan contoh salah satu poin pernyataan penilaian. Setiap satu nomer pernyataan penilaian terdapat 5 level penerapan *lean*. Untuk setiap pernyataan terdapat penjelasan singkat dibawahnya untuk mempermudah responden dalam memahami pertanyataan tersebut. Diberikan pula contoh indikator penilaian *lean* untuk setiap pernyataan. Setiap level diberikan deskripsi tingkat kapabilitas rumah sakit. Responden nantinya akan memberi penilaian level kapabilitas *lean* saat ini dan target yang ingin dicapai dalam jangka waktu 1-3 tahun kedepan. Responden akan memberi tanda pada huruf "KS", yang artinya kondisi saat ini, dan pada huruf "T" yang artinya target.

Tabel 5. Contoh salah satu poin pernyataan penilaian

No Sub	**Penerapan konsep *lean***	**Tingkat kapabilitas rumah sakit**									
		Level 1		**Level 2**		**Level 3**		**Level 4**		**Level 5**	
A.1.1	**Integrasi *lean* pada perencanaan proses strategis**	Rumah sakit tidak memahami konsep *lean*, tidak terbukti terdapat penerapan *lean*		Rumah sakit memahami *lean*, penerapan di level bawah rumah sakit, penerapan terpisah-pisah antar unit		Rumah sakit menerapkan *lean* pada level bawah secara terintegrasi antar unit, rencana strategis rumah sakit tidak mempertimbangkan *lean*		Rumah sakit menerapkan *lean* pada setiap level secara terintegrasi antar unit, rencana strategis rumah sakit mempertimbangkan *lean*		Penerapan *lean* pada setiap level dan rencana strategis telah memberikan manfaat pada pertumbuhan, profitabilitas dan *market position* rumah sakit	
	Konsep lean memberikan dampak pada perkembangan dan profit rumah sakit	KS	T	KS	T	KS	T	KS	T	KS	T
	Contoh indikator lean	Penerapan konsep *lean* secara eksplisit terdapat pada rencana strategis rumah sakit									
		Rencana stategis rumah sakit memperhitungkan manfaat dari perbaikan konsep *lean*									

Dari hasil observasi dan wawancara terdapat konsep yang belum dipahami atau belum dapat diterapkan di kondisi rumah sakit menurut presepsi tenaga kesehatan.

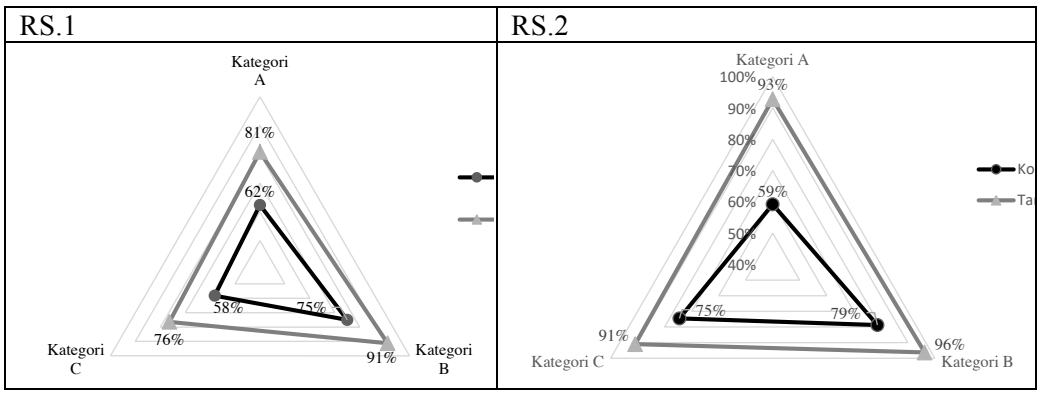
ISBN 978-602-73461-8-5

Konsep yang belum dipahami ini menjadi suatu potensi kajian yang menarik untuk lebih didalami karena menunjukkan gap pemahaman tentang konsep lean itu sendiri. Konsep-konsep tersebut adalah:

1. Pemahaman tentang produk dari rumah sakit adalah hanya pelayanan administratif terhadap pasien. Dalam lingkup yang lebih luas produk dari *healthcare* mencakup segala hal yang mendukung proses diagnosis, preventif, dan perawatan terhadap penyakit dan kesehatan.
2. Pernyataan terkait *sparepart* dan *warranty of product* tidak dipahami penerapannya pada bidang kesehatan. Pentingnya reliabilitas alat-alat pendukung administrasi dan kesehatan dalam mendukung *lean* belum dipahami.
3. Konsep inovasi yang melibatkan rumah sakit dan *stakeholder* tidak dipahami. Keterlibatan stakeholder yang lain bidang *healthcare* seperti perawat, berbagai dokter spesialis, terapis, tenaga farmasi, vendor obat dan alat kesehatan, dan lain-lain belum dipahami.
4. Pemahaman *work-in-process* di rumah sakit belum dimengerti dan melihat permintaan pelayanan yang sangat besar maka meminimalisir *work-in-process* sulit untuk dilakukan. Yang diutamakan oleh tenaga kesehatan saat ini adalah standar waktu pelayanan per pasien, dimana waktu pelayanan masih bervariasi sesuai dengan kasus yang dialami pasien.

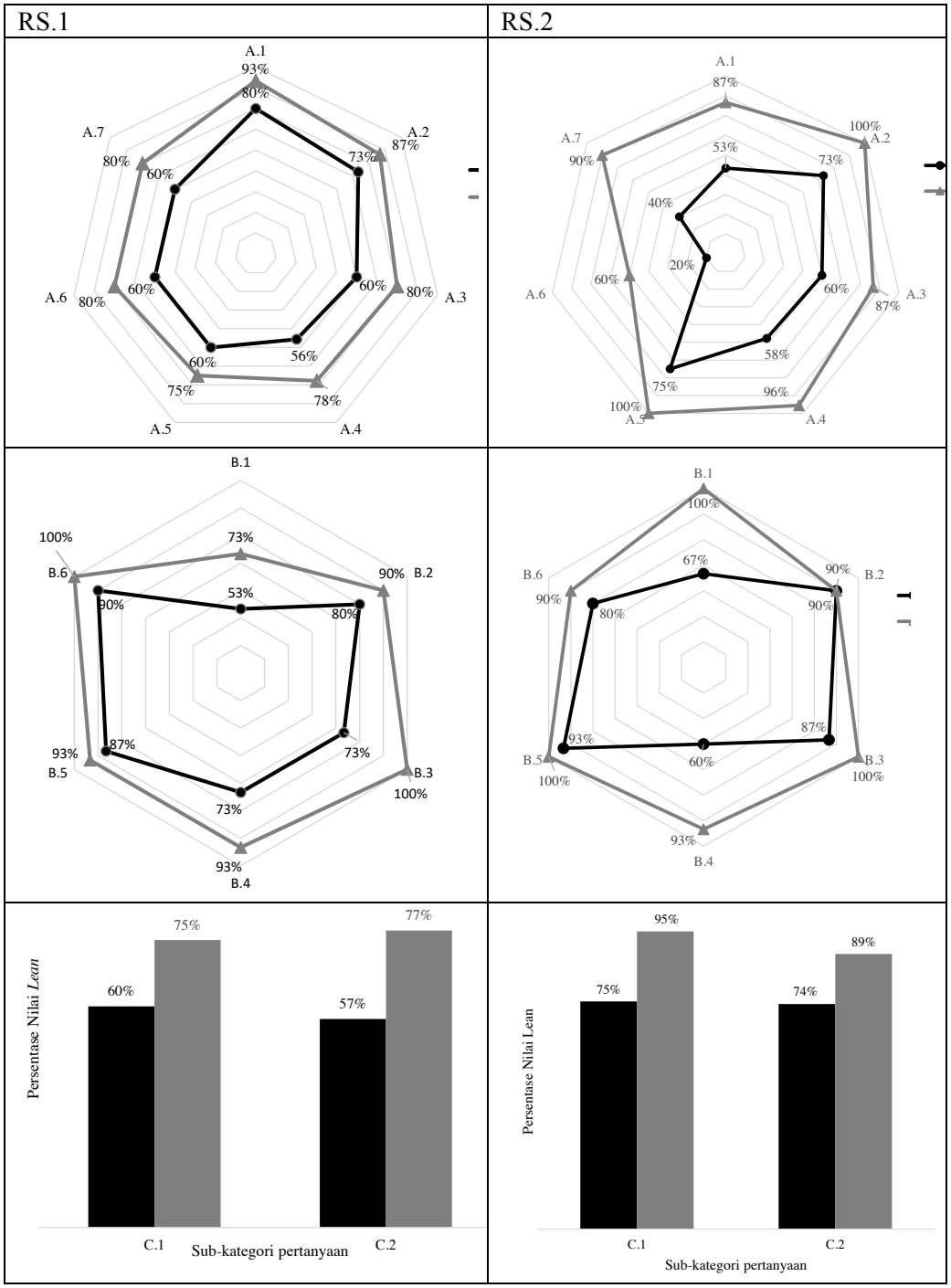
Gambar 1 menunjukkan contoh hasil *assessment healtcare* pada dua rumah sakit, RS.1 dan RS.2, yang telah dilakukan berdasarkan kategori A (Leadership), B (Proses Pelayanan), dan C (Infrastruktur). Digunakan *radar-chart* atau *spider-web* diagram untuk menggambarkan persentase pencapaian *lean* dari setiap kategori dan juga dari sub-kategori (Gambar 2). Setiap diagram menginformasikan keadaan saat ini dan juga target yang diinginkan. Bentuk diagram seperti ini dapat mempermudah dan mempercepat proses analisis hasil. Terlihat dengan mudah kategori yang menjadi kekuatan dan yang masih menjadi kelemahan rumah sakit dalam kapabilitas *lean*. Analisi gap antara kondisi saat ini dan target yang diinginkan dapat menjadi pembahasan oleh manager yang bertanggung jawab terhadap *lean* di rumah sakit tersebut.

Analisis lain yang dapat dilakukan adalah interaksi antar kategori atau sub-kategori. Salah satunya adalah seberapa besar pengaruh penyediaan infrastruktur (Kategori C) terhadap proses pelayanan (Kategori B) yang *lean*, atau pengaruh antar sub-kategori misalnya adakah hubungan antara Penerapan Pola Pikir Lean (Sub-kategori A.2) terhadap Pengembangan Pelayanan dan Alur Penanganan Pasien (Sub-kategori B.3).



Gambar 1. Contoh hasil analisis kapabilitas *lean* berdasarkan kategori

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 2. Contoh hasil analisis kapabilitas *lean* berdasarkan sub-kategori

4. Kesimpulan

Telah dikembangkan *lean healthcare assessment tool* tahap awal yang berisi 52 pernyataan penilaian yang dibagi menjadi 3 kategori dan 15 sub-kategori. *Assessment tool* ini lebih banyak mempertimbangkan pengetahuan dan persepsi dari tenaga kesehatan di rumah sakit saat ini tentang konsep *lean*. Hasil analisis *lean* dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan rumah sakit dalam meningkatkan kapabilitas *lean* di setiap kategoti

ISBN 978-602-73461-8-5

maupun sub-kategori. Masih ada beberapa konsep penting *lean* yang belum dipahami dan menjadi tantangan dalam pengembangan *lean assessment tool* ini lebih lanjut.

Daftar Pustaka

Castaldi, M., Sugano, D., Kreps, K., Cassidy, A., dan Kaban, J., 2016, *Lean Pilosophy and The Public Hospital*, Perioperative Care and Operating Room Management, Vol. 3, pp. 25-28.

D'Andreamatteo, A., 2015, *Lean in Healthcare : A Comprehensive Review*, Health Policy, 119.9, 1197-209

Graban, M., 2016, *Lean Hospitals: Improving Quality, Patient Safety, and Employee Engagement*, 3rd ed., CRC Press, New York.

LaGanga, R.L., 2011, *Lean Service Operations: Reflections and New Directions for Capacity Expansion in Outpatient Clinics*, Journal of Operations Management Vol. 29, Issue 5, pp 422-433.

Lee, Q., 2004, *Lean Manufacturing Strategy*, Strategos Inc, http://www.strategosinc.com/assessment.htm, online accessed on 4 Sept. 2017.

Massachusetts Institute of Technology, University of Warwick, 2001, *Lean Enterprise Self-Assessment Tool (LESAT) ver.1.0*, Massachusetts Institute of Technology & University of Warwick, Amerika

Mazzocato, P., 2012, *How Does Lean Work In Emergency Care? A Case Study Of A Lean-Inspired Intervention At The Astrid Lindgren Children's Hospital*, Stockholm, Sweden, BMC Health Services Research, 12:28.

ISBN 978-602-73461-8-5

Peningkatan Kualitas Kain Tekstil *Solid* dengan Menggunakan Pendekatan Six Sigma pada Unit *Finishing and Printing* di PT. XYZ

Ibnu Abdul Rosid, Kifayah Amar
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Sunan Kalijaga Yogyakarta
Jl. Marsda Adisucipto, Yogyakata
Telp. : +62-274-512474
Email : ibnu.arrasheed@gmail.com

Intisari

Penelitian ini membahas peningkatan kualitas dengan menggunakan pendekatan Six Sigma di Unit Finishing and Printing PT. XYZ. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatan kualitas kain tekstil solid. Six Sigma merupakan salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan kualitas. Pada penelitian ini jenis data menggunakan data kualitatif dan data kuantitatif, dengan cara pengambilan data secara primer maupun sekunder. Data kecacatan yang digunakan adalah data rekap kualitas bulan Februari hingga April 2015. Metodologi yang digunakan yaitu DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Dan Control). Pada tahap define dilakukan pemetaan proses produksi menggunakan Diagram SIPOC (Supplier, Input, Process, Output, Customer), kemudian dilakukan klasifikasi jenis kecacatan cacat, serta pemilihan CTQ (Critical To Quality) menggunakan Diagram Pareto, dan didapatkan 4 jenis cacat yang ditentukan sebagai CTQ, diantaranya jenis cacat kotor (36,51), belang (30,27%), kusut (6,94 %), dan warna beda (6,48 %). Pada tahap measure dilakukan perhitungan nilai sigma level, dan didapatkan nilai sigma rata-rata sebesar 3,4368492. Pada tahap analyze dengan menggunakan Diagram Fishbone didapatkan faktor-faktor penyebab kecacatan, yaitu faktor manusia, mesin, material, metode, dan lingkungan, dengan menggunakan FMEA didapatkan nilai RPN (Risk Priority umber) tertinggi yaitu pada jenis cacat belang dengan nilai RPN Sebesar 41,34375 dengan jenis kegagalan yang sering terjadi adalah kain melipat, yang mengakibatkan warna tidak menyerap secara sempurna, penyebab kegagalan karena operator kurang memperhatikan kondisi kain yang sedang diproses. Pada tahap improve didapatkan rekomendasi yang dapat diberikan kepada perusahaan yang didapatkan dari hasil analisis dengan menggunakan FMEA.

Kata kunci: *Cacat, Kualitas, RPN, Sigma Level, Six Sigma.*

1. Pendahuluan

Kualitas adalah kemampuan dari suatu produk untuk dapat memuaskan atau memenuhi kebutuhan dari pelanggan (Heizer & Render, 2014), kualitas merupakan salah satu dalam persaingan perusahaan dan menjadi faktor pendorong konsumen dalam memilih produk atau produsen produk, serta peningkatan kualitas juga dapat meningkatkan *output* yang baik, dimana produk cacat diminimalisir, hal ini akan berdampak pada biaya operasi yang menurun (Prihantoro, 2012). Pada penelitian ini meneliti mengenai usaha dalam peningkatan kualitas dengan menggunakan metode

ISBN 978-602-73461-8-5

Six Sigma pada Unit *Finishing and Printing* di PT. XYZ. Perusahaan tersebut merupakan sebuah perusahaan tekstil terpadu. Tujuan Six Sigma adalah untuk memberikan produk, proses dan peningkatan yang lebih baik, dimana hal tersebut merupakan pendekatan untuk tujuan finansial yang ditujukan untuk perusahaan/organisasi dan peningkatan nilai perusahaan (Kabir et al, 2013).

2. Metode

Data primer pada penelitian ini adalah penyebab kecacatan atau permasalahan dan penilaian kuisioner *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Sedangkan data sekunder adalah data rekap cacat kain *solid* selama 3 bulan yaitu Bulan Februari 2015 hingga Bulan April 2015, proses produksi kain *solid*, profil perusahaan, dan profil Unit *Finishing and Printing*. Metode pengumpulan data pada penelitian yaitu wawancara, observasi langsung, dan studi dokumen.

Metode yang umum digunakan dalam Six Sigma adalah DMAIC yang merupakan akronim dari *Define, Measure, Analyze, Improve,* dan *Control* (Taneja & Manchanda, 2013). Ada beberapa alat atau *Quality* Tools yang dapat digunakan dalam Metodologi DMAIC, di antaranya:

Tabel 1. *Tools* dalam metodologi DMAIC

Tahap	*Tools*
Define	SIPOC
Measure	CTQ, Gauge R&R
Analyze	*Root Cause Analysis, Brainstroming, Scatter Plots, Fishbone, FMEA*
Improve	DOE, Analisis Regresi
Control	*Project Report, Flow Chart*

Sumber: Centre for the Advancement of Process Technology (2011,m p. 165), Gitlow et al (2005, p.732), & Summers (2011, p. 4-8).

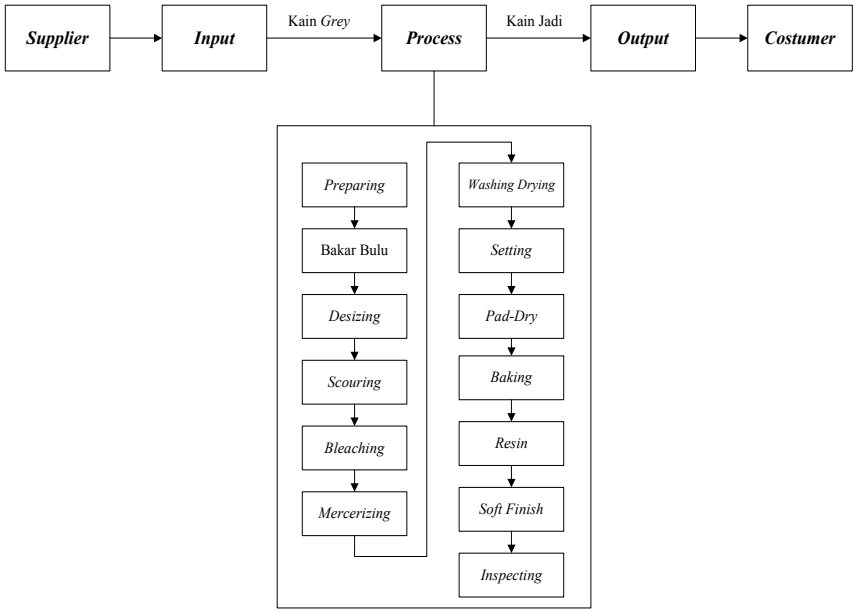
Sedangkan batasan dalam penelitian ini tahap DMAIC hanya sampai pada *Improve*, adapun *tools* yang digunakan pada tahap DMAIC antara lain : *Define*, pada tahap ini melakukan pemetaan terhadap proses produksi kain tekstil pada Unit *Finishing and Printing* PT. XYZ dengan menggunakan Diagram SIPOC. Tahap ini juga menentukan CTQ dari permasalahan dengan menggunakan Diagram Pareto. *Measure,* pada tahap ini melakukan pengukuran nilai sigma atau *sigma level*, tingkat kecacatan menurut konsep Six Sigma adalah per juta kemungkinan (*Defect per Million Opportunities*) (Syukron & Kholil, 2013). *Analyze, p*ada tahap ini dilakukan analisis data untuk menentukan penyebab kecacatan suatu produk serta peluang untuk melakukan perbaikan atau peningkatan, *tools* yang digunakan adalah diagram *Fishbone Diagram* dan FMEA, *Fishbone* diagram merupakan sebuah alat grafis yang mempresentasikan dan mengelompokkan ide atau alasan (penyebab) ke dalam katergori-kategori keadaan (Center for the Advancement of Process Technology, 2011), sedangkan FMEA memungkinkan perkiraan terhadap potensial permasalahan dan efeknya, bersama dengan pengembangan rencana implementasi yang preventif (Tummala et al, 2014). *Improve,* pada tahap ini dengan melakukan perancangan ulang, merubah atau memodifikasi proses atau prosedur yang ada. Tahap ini bertujuan untuk melakukan pengembangan, pemilihan serta pengimplementasian solusi terbaik, serta mengetahui mengapa terjadi permasalahan/cacat.

ISBN 978-602-73461-8-5

3. Hasil dan Pembahasan

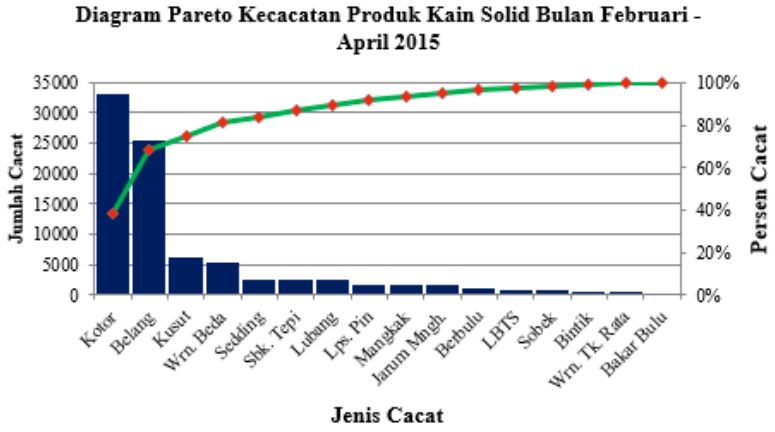
3.1. *Define*

Define, pemetaan proses produksi kain *grey* dengan menggunakan SIPOC yang terdapat pada Unit *Finishing and Printing* PT. XYZ adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram SIPOC

Pada hasil wawancara dengan beberapa responden serta pengamatan secara langsung disimpulkan bahwa beberapa jenis cacat dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis cacat yang hampir sama penyebab serta kemiripan hasil kecacatan, dimana didapatkan ada 16 jenis cacat, yaitu bakar bulu, belang, kotor, warna beda, kusut, sedding, sobek tepi, lubang, jarum menengah, mangkak, lepas pin, berbulu, sobek, lebar tak sama, warna tak rata serta bintik. Penentuan CTQ didasarkan pada data kecacatan produk kain *Solid* pada Bulan Februari 2015 hingga Bulan April 2015. Berikut adalah data kecacatan produk kain *Solid* pada Bulan Februari 2015 hingga Bulan April 2015.



Gambar 2. Diagram Pareto

ISBN 978-602-73461-8-5

Berdasarkan pengolahan data pada Diagram Pareto dengan menggunakan *software* Microsoft Excel didapatkan beberapa cacat yang memiliki dampak besar sesuai dengan konsep Pareto, seperti yang dikutip dari Stevenson dan Chuong (2014) bahwa rata-rata 80 persen masalah datang dari 20 persen hal. Dari hasil analisis dengan menggunkan Diagram Pareto terdapat 4 (empat) jenis cacat yang termasuk ke dalam 20% penyebab permasalahan, antara lain yaitu : Kotor (36,51), Belang (30,27%), Kusut (6,94 %), dan Warna Beda (6,48 %). Sehingga CTQ yang didasarkan pada konsep Pareto yaitu Kotor, Belang, Kusut, dan Warna Beda.

3.2. *Measure*

Tahap *Measure* dilakukan untuk mengetahui kondisi yang terjadi pada saat ini, serta untuk mengetahui kemajuan yang akan dicapai (Jacobs & Chase, 2008). Pada Tahap *Measure* dilakukan perhitungan *Sigma Level*, dimana perhitungan tersebut dimaksudkan untuk mengetahui nilai sigma produksi perusahaan. Perhitungan *Sigma Level* dan *Defect Per Million Oppotunities* (DPMO), nilai *opportunities* merupakan nilai CTQ (Rumana & Desai, 2014). Berikut adalah perhitungan *sigma level* pada data pertama :

a. *Defect Per Unit* (DPU)

$$\text{DPU} = \frac{Jumlah\ Cacat}{Jumlah\ Unit\ Produksi} = \frac{64}{423} = 0{,}1513002$$

b. Perhitungan *Defect Per Million Opportunities* (DPMO)

$$\text{DPMO} = \frac{Jumlah\ Cacat}{Kemungkinan\ Kesalahan} \text{ x } 1000000 =$$

$$= \frac{64}{(423\ x\ 4)} \text{ x } 1000000 = 37825{,}059$$

c. Perhitungan *Sigma Level*
   Perhitungan *Sigma Level* dengan menggunakan *Software* Microsoft Excel, dimana nilai SHIFT untuk 6 sigma adalah 1,5. Berikut adalah contoh perhitungan untuk data pertama :
   = NORMSINV (1 –DPMO/1000000) + SHIFT =
   = NORMSINV(1-37825,059/1000000) + 1,5 =
   = 3,276503

Dari perhitungan *sigma level* didapatkan nilai sigma terbesar sebesar 4,5990493, nilai sigma terkecil yaitu sebesar 2,1744898, sedangkan nilai sigma rata-rata sebesar 3,4333869.

3.3. *Analyze*

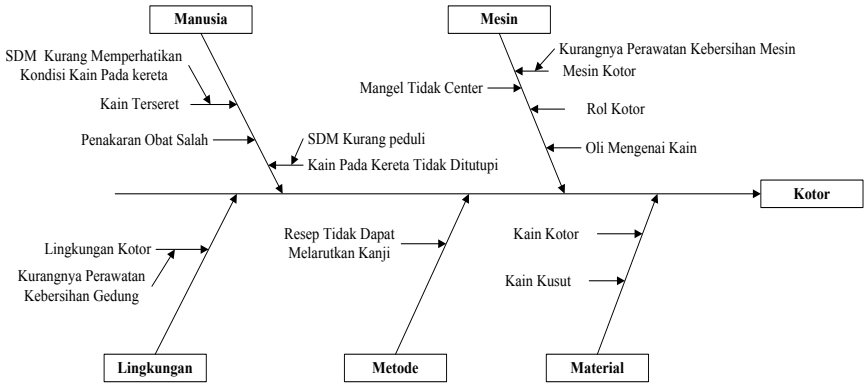
Pada tahap ini dilakukan analisis data untuk menentukan penyebab kecacatan suatu produk serta peluang untuk melakukan perbaikan atau peningkatan. Pada tahap ini menggunakan *Fishbone Diagram* dan *FMEA*.

a. Analisis Kecacatan dengan Menggunakan *Fishbone Diagram*
   Dalam pembuatan *Fishbone Diagram* dilakukan dengan cara melakukan pengamatan langsung serta melakukan wawancara kepada Karyawan dan Staff bagian *Bleaching*,

ISBN 978-602-73461-8-5

Dyeing, *Finishing*, *Inspecting* serta bagian PPIC dan *Quality Assurance*. Faktor-faktor penyebab kecacatan dikategorikan menjadi beberapa faktor, yaitu manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan.

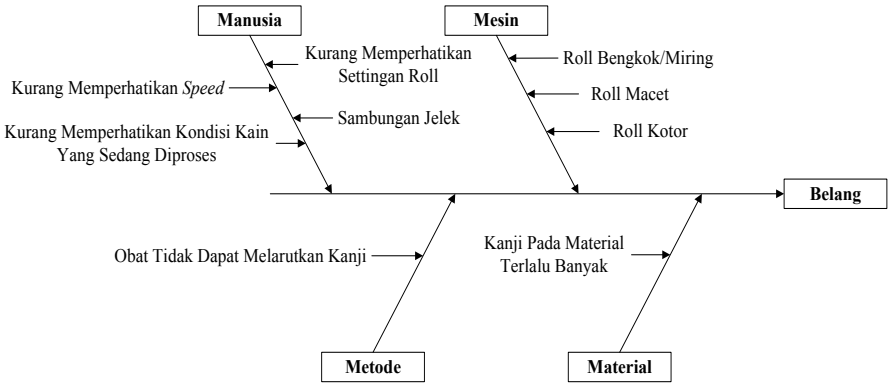
1. Cacat Kotor



Gambar 3. *Fishbone diagram* cacat kotor

Hasil analisis dengan menggunakan diagram *fishbone* didapatkan faktor-faktor yang menyebabkan cacat berupa kotor, diantaranya adalah faktor mesin, manusia, lingkungan, metode, dan material. Faktor mesin yang menyebabkan cacat berupa kotor yaitu mesin yang kotor yang disebabkan karena kurangnya perawatan mesin, mangel tidak center , serta oli mesin yang mengenai kain. Faktor manusia yang menyebabkan cacat kotor yaitu penakaran obat yang salah, kain pada kereta (alat transportasi kain *Work In Process*) yang tidak ditutupi, hal tersebut disebabkan karena SDM yang tidak peduli pada kondisi kain pada kereta, kain terseret sehingga terkena kotoran, hal tersebut dikarenakan karena SDM tidak memperhatikan kondisi kain pada kereta. Faktor lingkungan yang menyebabkan cacat kotor yaitu lingkungan tempat produksi yang kotor, dikarenakan kurangnya perawatan kebersihan gedung. Faktor metode yang menyebabkan cacat kotor yaitu resep material yang dibuat tidak dapat melunakkan kanji. Faktor material yang menyebabkan cacat berupa kotor yaitu material yang kotor, serta kain yang kusut.

2. Cacat Belang

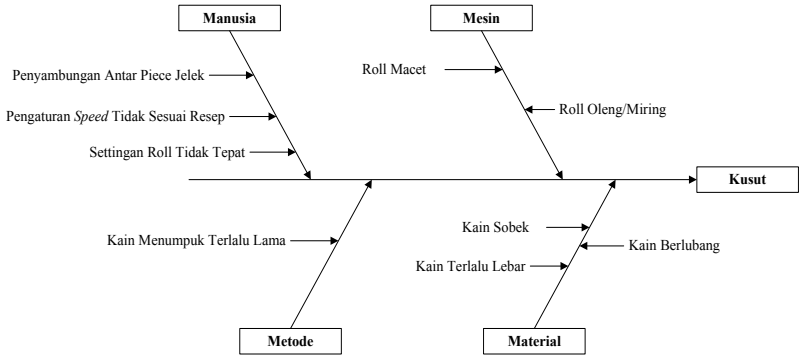


Gambar 4. *Fishbone diagram* cacat belang

ISBN 978-602-73461-8-5

Hasil analisis menggunakan *fishbone,* didapatkan penyebab cacat belang yang terdiri dari beberapa faktor. Faktor material yang menyebabkan cacat belang adalah kanji pada material yang terlalu banyak. Faktor mesin yang menyebabkan cacat belang adalah roll yang bengkok, roll macet, serta adanya kotoran pada roll. Faktor Manusia yang menyebabkan cacat belang adalah operator yang kurang memperhatikan settingan roll, jahitan antar *piece* yang dihasilkan jelek, operator tidak memperhatikan *speed* yang sesuai dengan tipe material, dan operator yang tidak fokus atau tidak memperhatikan kondisi kain yang sedang diproses. Faktor material yang menyebabkan cacat belang adalah kanji pada material yang terlalu banyak sehingga menyebabkan kinerja obat tidak maksimal untuk melarutkan kanji.

3. Cacat Kusut

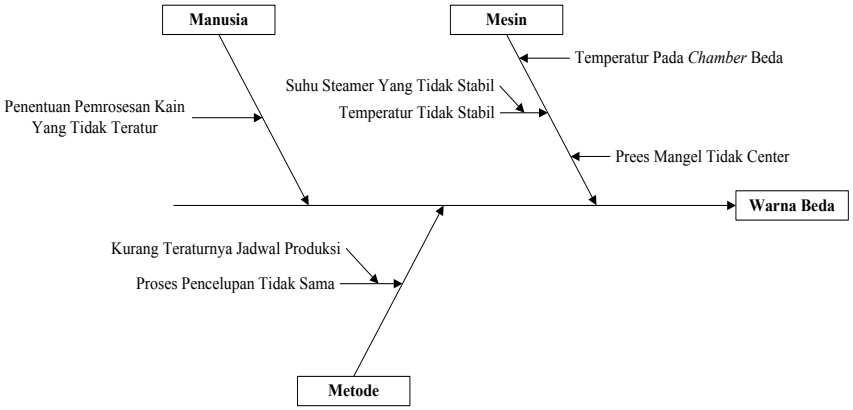


Gambar 5. *Fishbone diagram* cacat kusut

Hasil analisis menggunakan diagram *fishbone* didapatkan faktor penyebab cacat kusut diantaranya, faktor mesin, manusia, metode, dan material. Faktor mesin yang menyebabkan cacat belang yaitu roll yang macet dan roll yang tidak *center* atau miring. Faktor manusia yang menyebabkan cacat kusut antara lain yaitu penyambungan atau jahitan antar *piece* yang jelek, operator salah dalam pengaturan *speed* mesin, sehingga tidak sesuai dengan resep material, serta settingan roll tidak tepat. Faktor metode yang menyebabkan cacat berupa kusut yaitu material yang menumpuk terlalu lama pada kereta. Faktor material yang menyebabkan cacat berupa cacat kusut yaitu kain sobek, kain berlubang, kain yang terlalu lebar.

ISBN 978-602-73461-8-5

4. Cacat Warna Beda



Gambar 6. *Fishbone diagram* cacat warna beda

Hasil analisis menggunakan analisis *fishbone* didapatkan faktor-faktor yang menyebabkan cacat warna beda, diantaranya adalah faktor manusia, mesin, dan metode. Faktor manusia yang menyebabkan cacat berupa warna beda yaitu temperatur pada *chamber* yang berbeda, temperatur yang tidak stabil, dan *press mangle* yang tidak *center* . Faktor manusia yang menyebabkan cacat berupa warna beda yaitu penentuan proses pemrosesan kain yang berbeda. Faktor metode yang menyebabkan cacat berupa warna beda yaitu proses pencelupan yang tidak sama yang dikarenakan kurang teraturnya jadwal produksi.

b. Analisis menggunakan FMEA

Pembuatan FMEA dilakukan dengan cara melakukan pengembangan dari *Fishbone Diagram*. Dari hasil pengembangan dibuat form FMEA yang disi oleh orang yang mengetahui dan terlibat dalam proses produksi Kain *Solid*. Adapun responden dari pembuatan kuesioner FMEA antara lain adalah Staf dan Karyawan Seksie *Dyieng*, *Bleaching*, *Finishing*, *Inspecting*, *Maintenance*, PPIC dan Quality Assurance (QA). Hasil pengolahan data dengan menggunakan FMEA didapatkan nilai RPN terbesar yaitu sebesar 41,34375, nilai tersebut terdapat pada Jenis Cacat Belang pada komponen material, dengan kegagalan berupa kain melipat, dimana kegagalan tersebut menyebabkan warna menyerap tidak sempurna, dimana penyebab kegagalan adalah karena operator kurang memperhatikan kondisi kain yang sedang diproses dan kontrol terhadap penyebab kegagalan adalah operator perlu untuk memperhatikan kondisi kain yang sedang diproses.

3.4. *Improve*

Dari hasil analisis didapatkan penyebab kecacatan yang dianalisis dengan menggunakan *fishbone diagram*, dimana didapatkan faktor-faktor penyebab kecacatan serta penyebab yang diklasifikasikan sesuai dengan faktor-faktor tersebut. Pada tahap analisis juga dilakukan analisis dengan menggunakan FMEA didapatkan bahwa nilai RPN terbesar yaitu pada proses/komponen operator yaitu dengan nilai RPN sebesar 41,343, dengan jenis kegagalan kain melipat yang mengakibatkan kain menyerap tidak rata, penyebab kegagalan adalah kurang memperhatikan kondisi kain yang sedang diproses, adapun kontrol yang dilakukan adalah operator perlu memperhatikan kondisi kain yang sedang diproses. Berikut adalah rekomendasi yang diusulkan yang didasarkan pada analisis dengan menggunakan FMEA.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 2. Rekomendasi perbaikan

No.	RPN's	Jenis Cacat	Komponen/ Proses	Jenis Kegagalan Yang Sering Terjadi	Akibat Dari Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Rekomendasi
1	41,34	Belang	Operator	Kain Melipat	Warna Tidak Menyerap Secara Sempurna	Kurang Memperhatikan Kondisi Kain Yang Sedang Diproses	▪ Operator harus fokus dalam melakukan proses produksi ▪ Periksa kondisi *Coat Guider* apakah dalam kondisi baik ▪ Atur kerapian kain dalam kereta ▪ Lakukan inpeksi keliling pada mesin saat proses produksi
2	37,73	Warna Beda	Temperatur	Temperatur Tidak Stabil	Proses Masuknya Warna Pada Serat Kain Tidak Maksimal	Temperatur *Steamer* Tidak Stabil	▪ Melakukan komunikasi yang intensif dengan bagian *steam*
3	29,73	Belang	Roll	Roll Bengkok/Miring	Kain Tidak Menyerap Pewarna Secara Sempurna	Kurang Memperhatikan Kestabilan Roll	▪ Pemeriksaan kondisi roll oleh teknisi harus lebih diperhatikan ▪ Operator perlu mengontrol kondisi roll sebelum proses produksi dilakukan
4	29,61	Warna Beda	Pencelupan	Pencelupan Antar Piece Tidak Sama	Warna Antar Piece Beda	Jadwal Pemrosesan Antar Piece Tidak Teratur	▪ Atur Jadwal Proses Material Dengan Seksama dan Fleksibel
5	28,71	Kusut	Material	Kain Sobek	Kain Melipat Terproses	Jarum Lepas	▪ Operator harus fokus dalam melakukan pemrosesan kain ▪ Kontrol kondisi jarum, dan pastikan dalam kondisi yang baik dan siap digunakan ▪ Jaga kebersihan stenter ▪ Perbaiki mesin pengendali stenter

ISBN 978-602-73461-8-5

No.	RPN's	Jenis Cacat	Komponen/ Proses	Jenis Kegagalan Yang Sering Terjadi	Akibat Dari Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Rekomendasi
6	28,02	Belang	*Speed*	*Speed* Mesin Tidak Sesuai Resep	Proses *Scouring* dan *Bleaching* Tidak Sempurna	Operator Kurang Memperhatikan Resep	▪ Operator harus lebih memperhatikan *Standard Operating Procedure* (SOP) proses produksi material ▪ Lakukan pemeriksaan mesin secara intensif
7	24,60	Warna Beda	Roll Mangel	Roll Mangel Tidak Center	Proses Pemasukan Pewarnaan Tidak Merata	Kurangnya Memperhatikan Kondisi Roll Mangel	▪ Pemeriksaan kondisi rol mangel oleh teknisi harus lebih diperhatikan ▪ Operator perlu mengecek ulang kondisi roll *mangel* sebelum proses produksi dilakukan
8	23,46	Belang	Obat	Obat Tidak Mampu melunakkan Kanji	Kain Tidak Mampu Menyerap Pewarna Secara Sempurna	Kesalahan Dalam Membuat Resep	▪ Menerapkan 5S ▪ Pemberian tempat khusus untuk pembuatan resep
9	22,50	Kusut	Operator	Operator Kurang Memperhatikan Kondisi Kain Dan Mesin	Kain Melipat Terproses	Kurangnya Pengawasan	▪ Operator perlu memproduksi SOP proses produksi material ▪ Operator harus fokus
10	22	Kusut	Penyambungan	Jahitan Jelek	Kain Melipat Terproses	Proses Penjahitan Antar *Piece* Tidak Rapi	▪ Penempatan SOP penjahitan yang lebih jelas ▪ Pemberian SOP yang jelas mengenai penyambungan/penjahitan antar *piece*
11	20,67	Kotor	Mesin	Minyak/Pelumas Mengenai Material	Muncul Kotor Minyak, Oli, dan Flek Warna	Kondisi Mesin Kurang Terawat	▪ Melakukan penerapan 5S ▪ Mengecek kondisi bagian/komponen mesin
12	19,61	Kotor	SDM	Operator Kurang Memperhatikan Kondisi Kain Di Kereta	Kain Terkena Debu	Kain Di Kereta Tidak Ditutupi Dengan *Cover*	▪ Melakukan penerapan 5S yang konsisten ▪ Pemberian SOP *Material Handling* yang jelas

ISBN 978-602-73461-8-5

4. Kesimpulan

Usulan perbaikan yang diberikan kepada perusahaan untuk meminimasi kecacatan produk yaitu memeriksa kondisi *part* mesin apakah dalam kondisi yang baik atau tidak, atur kerapian kain dalam kereta, melakukan inspeksi keliling pada mesin saat proses produksi, mengontrol kondisi roll sebelum dan sesudah proses produksi. Adapun saran sebagai bahan pertimbangan untuk perbaikan antara lain : menerapkan proyek 5S (*Seisi, Seiso, Seiton, Seiketsu,Shitsukhe*) secara berkala dan konsisten, perbaikan komunikasi yang baik antara seksie serta antar karyawan, sehingga jika terdapat permasalahan dapat segera ditangani serta dapat mencegah timbulnya permasalahan lain, mengembangkan SOP (*Standard Operational Procedure*) terkait *material handling*, penggantian terhadap beberapa komponen mesin untuk mendukung produktivitas mesin..

Daftar Pustaka

Ambekar, S. B., Edlabadkar, A., and Shrouty, V., 2013, *A Review : Implementation of Failure Mode and Effect Analysis,* International Journal of Engineering and Innovative Technology, Vol. 2, pp. 37-41.

Centre for the Advancement of Process Technology, 2011, *Process Quality,* Prentice Hall, Upper Sadle.

Chauhan, A., Malik, R.K., Sharma, G., and Verma, M, 2011, *Performance Evaluation of Casting Industry by FMEA 'A Case Study'*, International Journal of Mechanical Engineering Applications Research, Vol. 2, pp. 115-116.

Ginting, Rosnani, 2007, Sistem Produksi, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Gitlow, H. S., Oppenheim, A. J., Oppenheim, R., dan Levine, D. M., 2005, *Quality Management*, McGraw-Hill Inc, New York.

Groover, Mikell P., 2011, *Principles of Modern Manufacturing SI Version*, John Wiley & Sons, Hoboken.

Heizer, J. and Render, B., 2014, Manajemen Operasi : Manajemen Keberlangsungan dan Rantai Pasokan, Salemba Empat, Jakarta.

Kabir, Md. E., Boby, S. M. M. I., and Lutfi, M., 2013, *Productivity Improvement By Using Six-Sigma,* International Journal of Engineering and Technology, Vol. 3, pp. 1056-1084.

Prihantoro, Rudy, 2012, Konsep Pengendalian Mutu. PT Remaja Rosdakarya, Bandung.

Rumana, P. and Desai, D.A, 2014, *Review Paper: Quality Improvement through Six Sigma DMAIC Methodology*. *International Journal Of Engineering Sciences & Research Technology*. Vol. 3, pp. 169-175.

Summers, D. C. S., 2011, *Lean Six Sigma* : *Process Improvement Tools and Techniques*, Pearson Education, New Jersey.

Syukron, A. and Kholil, M., 2013, Six Sigma : *Quality For Business Improvement*, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Taneja, M. and Manchanda, A., 2013, *Six Sigma an Approach to Improve Productivity in Manufacturing Industry,* International Journal of Engineering Trends and Technology, Vol. 5, pp. 281-286.

Tummala, Rao V. M., 2014, *Integrating FMEA With The Supply Chain Management Process to Facilitate Supply Chain Design Decisions,* Production and Inventory Management Journal, Vol. 49, pp. 24-70.

ISBN 978-602-73461-8-5

Usulan Perbaikan Kualitas Baja dengan Metode *Statistical Quality Control* (SQC) dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) di PT. Growth Sumatra Industry

Khawarita Siregar, Khalida Syahputri, Rahmi M Sari, Indah Rizkya Tarigan, Farida Ariani, Novi Andri
Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155
Telp. (061) 8211952
Email : khawaritasiregar@yahoo.co.id

Intisari

Kualitas menjadi faktor primer bagi konsumen untuk memilih produk. PT. Growth Sumatera Industry adalah perusahaan yang bergerak di bidang produksi baja dengan sistem produksi bersifat make to order. Permasalahan yang sedang dihadapi PT. Growth Sumatera Industry adalah banyaknya produk baja yang cacat untuk jenis baja tulangan sirip. Jumlah rata-rata kecacatan produk baja tulangan sirip dalam satu tahun sebesar 1.885.229 kg (4,01 % dari total produksi). Jumlah ini masih melebihi batas tingkat kecacatan yang diinginkan oleh perusahaan yaitu maksimum sebesar 2%. Berdasarkan kondisi tersebut maka PT. Growth Sumatera Industry perlu melakukan penyelesaian terhadap penyebab kecacatan produk dengan menggunakan Statistical Quality Control (SQC) dengan seven tools dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan seven tools diperoleh dua jenis kecacatan yang paling dominan yaitu cacat fisik (38,5 %) dan gepeng (33,2 %) dengan kumulatif sebesar 71,7 %. Berdasarkan hasil analisis Cause and Effect Diagram dan FMEA yang telah dilakukan, diketahui bahwa nilai RPN tertinggi pada penyebab kecacatan cacat fisik yaitu mesin rolling mill tidak bekerja optimal dengan nilai RPN 343. Tindakan perbaikan yang diusulkan untuk jenis kecacatan cacat fisik yaitu melakukan pemeriksaan terhadap mesin rolling mill sebelum memulai proses produksi. Untuk nilai RPN tertinggi pada penyebab kecacatan gepeng yaitu banyaknya jenis bahan baku berkarbon tinggi dengan nilai RPN 210. Tindakan perbaikan terhadap jenis kecacatan gepeng yaitu memilih bahan baku dengan karbon yang diinginkan sebelum dituang ke tanur induksi dan memeriksa cetakan billet sebelum melakukan proses produksi.

Kata kunci: Pengendalian Kualitas, SQC, FMEA, RPN

1. Pendahuluan

Persaingan dan kemajuan teknologi yang semakin pesat telah membawa pengaruh yang cukup besar bagi dunia industri, dan para pelaku bisnis menyadari bahwa dalam situasi persaingan yang ketat ini diperlukan strategi yang handal agar produknya memiliki keunggulan. Permintaan konsumen terhadap mutu produk disertai meningkatnya jumlah produk menyebabkan daya saing dan daya tahan setiap usaha tidak lagi ditentukan oleh rendahnya biaya yang dikorbankan, tetapi juga ditentukan dengan nilai tambah produk melalui peningkatan kualitas.

ISBN 978-602-73461-8-5

Perbaikan berkelanjutan, pemantauan dan pengendalian kualitas dapat diimplementasikan dengan mempraktekkan manajemen mutu yang direncanakan melalui pendekatan inovasi jangka panjang yang disebut *statistical quality control*. Implementasi pengendalian ini menggunakan beberapa alat atau teknik manajemen untuk mengelola, memantau dan mengontrol kualitas pada berbagai tahap produksi mulai dari bahan baku hingga produk jadi untuk dikirimkan ke pelanggan. Penerapan alat atau teknik kualitas seperti *check sheet*, histogram dan diagram kontrol tidak hanya digunakan di beberapa sektor manufaktur dan jasa, tetapi juga terlihat pada sektor pemrosesan yang mengontrol dan mempertahankan kualitas.

Metode FMEA adalah metode sistematis untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dengan tujuan untuk mengantisipasi kegagalan dan untuk meminimalkan kemungkinan kegagalan. Penerapan FMEA dibagi menjadi empat area berdasarkan fokus dan objek, sistem, desain, proses dan layanan. Pada penanggulangan spesifik atau strategi pengukuran, FMEA diimplementasikan dengan menggunakan urutan berdasarkan RPN (*Risk Priority Number*). RPN merupakan model matematis dari dampak yang signifikan (*Severity*), frekuensi kemungkinan kegagalan (*Occurance*), dan kemampuan mendeteksi kegagalan sebelum produk mencapai konsumen (*Detection*).

PT. Growth Sumatera Industry adalah perusahaan yang bergerak di bidang produksi baja dengan sistem produksi bersifat *make to order*. Permasalahan yang sedang dihadapi PT. Growth Sumatera Industry adalah banyaknya produk baja yang cacat untuk jenis baja tulangan sirip dengan jumlah kecacatan dalam satu tahun sebesar 1.885.229 kg (4,01 % dari total produksi). Jumlah ini masih melebihi batas tingkat kecacatan yang diinginkan oleh perusahaan yaitu maksimum sebesar 2%.

Oleh karena itu, diperlukannya suatu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui penyabab kecacatan dan mengidentifikasi potensi kegagalan yang akan timbul dengan meminimisasi resiko kecacatan. Pengendalian kualitas dilakukan dengan metode *Statistical Quality Control* (SQC) dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA).

2. Metode

Penelitian dilakukan di *PT. Growth Sumatera Industry* mulai bulan Mei 2018 sampai selesai. Objek penelitian yang diamati adalah baja tulangan sirip yang tidak memenuhi standarisasi mutu sehingga dikatakan sebagai produk cacat.

Variabel yang terdapat dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel dependen dalam penelitian ini adalah kualitas produk baja.
2. Variabel independen pada penelitian ini adalah faktor penyebab kecacatan antara lain manusia, material dan mesin.

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan metode wawancara, yaitu kegiatan tanya jawab dengan Kepala Departemen *Quality Control* menggunakan metode *Purposive Sampling*. Hasil dari wawancara ini berupa uraian proses produksi dan faktor-faktor penyebab kecacatan produk.

Tahapan pelaksanaan penelitian yaitu:

1. Dilakukan studi pendahuluan untuk mengidentifikasi masalah yang terdapat pada perusahaan, proses produksi dan informasi lain.
2. Studi literarur dan teori pendukung untuk mendapatkan solusi atas pemecahan masalah.
3. Pengumpulan data untuk penelitian dengan melakukan wawancara langsung dengan bagian *quality control*.
4. Pengolahan data dengan metode SQC dan FMEA.
5. Dilakukan analisis terhadap hasil pengolahan data.

ISBN 978-602-73461-8-5

6. Ditarik kesimpulan dan diberikan saran untuk penelitian yang dilakukan.

Analisis pemecahan masalah dimulai dari menemukan penyebab-penyebab yang menjadi faktor timbulnya kecacatan dan memberikan usulan perbaikan kualitas.

3. Hasil dan Pembahasan

Check sheet adalah alat pengumpulan data yang disajikan dalam bentuk tabel yang berisi data jumlah produksi dan jumlah kecacatan produk sehingga dapat dikonversikan menjadi informasi.

Tabel 1. Total kecacatan baja tulangan sirip

Bulan	Total Produksi (Kg)	Total Kecacatan (Kg)
Mei 2017	3.575.000	141.807
Juni 2017	1.873.000	76.773
Juli 2017	5.057.000	187.656
Agustus 2017	3.942.000	177.483
September 2017	4.136.000	159.886
Oktober 2017	4.051.000	152.239
November 2017	5.047.000	180.259
Desember 2017	3.350.000	144.702
Januari 2018	3.612.000	169.216
Februari 2018	4.091.000	153.726
Maret 2018	3.627.000	167.546
April 2018	4.616.000	173.936

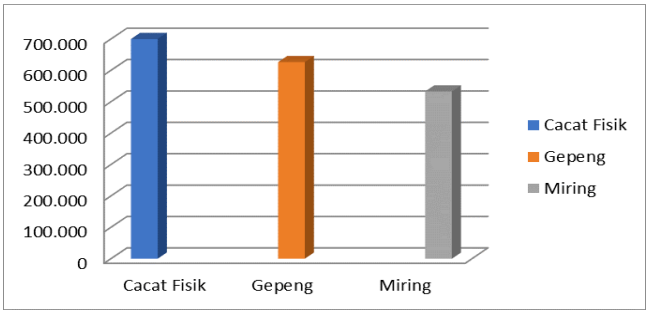
Stratifikasi adalah pengelompokkan data kedalam kelompok-kelompok yang memiliki karakteristik yang sama. Dari data yang diperoleh jenis kecacatan produk baja tulangan sirip adalah cacat fisik, gepeng dan miring. Stratifikasi kecacatan produk dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Stratifikasi kecacatan baja tulangan sirip

Jenis Kecacatan	Jumlah Kecacatan (Kg)
Cacat Fisik	725.958
Gepeng	626.392
Miring	532.879

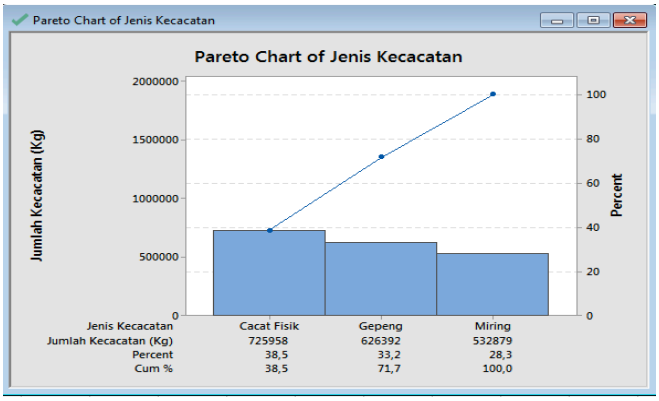
Berdasarkan tabel diatas diperoleh kecacatan tertinggi terdapat pada cacat fisik sebesar 725.958 kg dan yang terendah terdapat pada jenis kecacatan miring sebesar 532.879 kg. Histogram merupakan alat bantu berbentuk diagram batang yang menunjukkan tabulasi dari data yang diatur berdasarkan ukurannya. Histogram kecacatan baja tulangan sirip dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 1. Histogram kecacatan produk

Diagram pareto bertujuan untuk menunjukkan jenis kecacatan yang paling dominan dan perlu segera diatasi. Langkah awal yang dilakukan dalam pengerjaan pareto adalah mengurutkan setiap jenis kecacatan dari urutan terbesar dan terkecil. Kemudian dilakukan perhitungan persentase kecacatan dan persentase kumulatif dari setiap jenis kecacatan. Diagram pareto kecacatan produk dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.

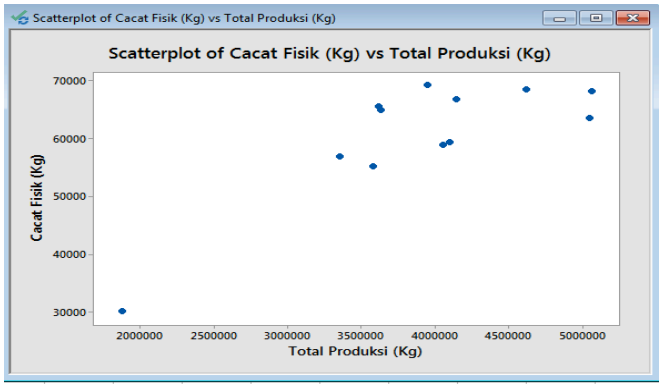


Gambar 2. Diagram pareto

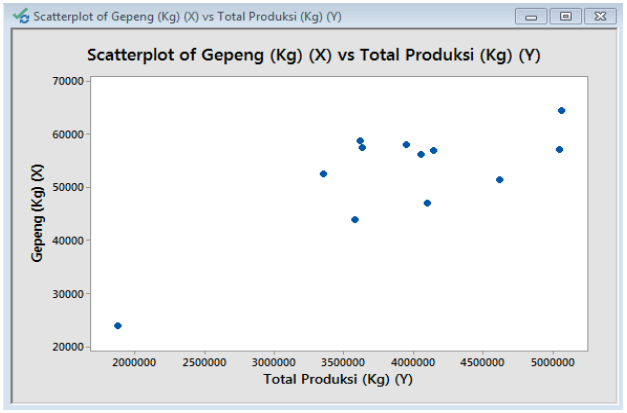
Berdasarkan pareto diagram dapat dilihat penyebab terbesar kecacatan produk baja tulangan sirip adalah cacat fisik (38,5%) dan gepeng (33,2%). Persentase kumulatif untuk jenis kecacatan tersebut mencapai 71.7 %. Nilai tersebut sesuai dengan aturan pengelompokkan 80-20, artinya 80% masalah yang timbul dari produk yang dihasilkan berasal dari 20% jenis kecacatan. Sehingga untuk mengurangi jumlah produk cacat sampai tingkat 80% cukup dengan menganalisis kedua jenis cacat tersebut.

Scatter diagram adalah gambaran yang menunjukkan hubungan keeratan antara dua variabel yang sering diwujudkan sebagai koefisien korelasi. *Scatter diagram* dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 berikut.

ISBN 978-602-73461-8-5

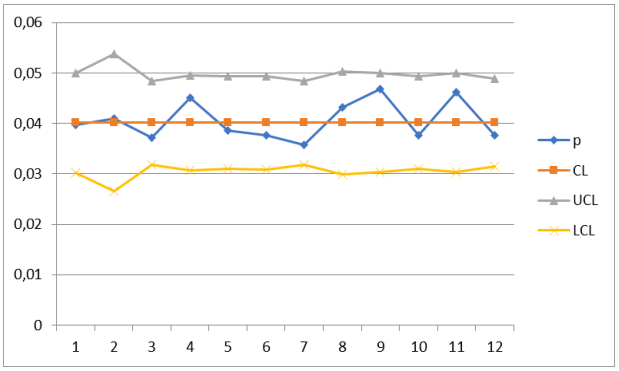


Gambar 3. *Scatter diagram* cacat fisik



Gambar 4. *Scatter diagram* gepeng

Peta kontrol (*control chart*), yaitu alat yang secara grafis digunakan untuk memonitor dan mengevaluasi aktivitas atau proses yang berada dalam pengendalian kualitas secara statistika. Peta kontrol yang digunakan adalah peta kontrol P yang berfungsi untuk mengukur proporsi ketidaksesuaian dari *item-item* dalam kelompok yang sedang diinspeksi. Hasil peta kontrol dapat dilihat pada gambar berikut.

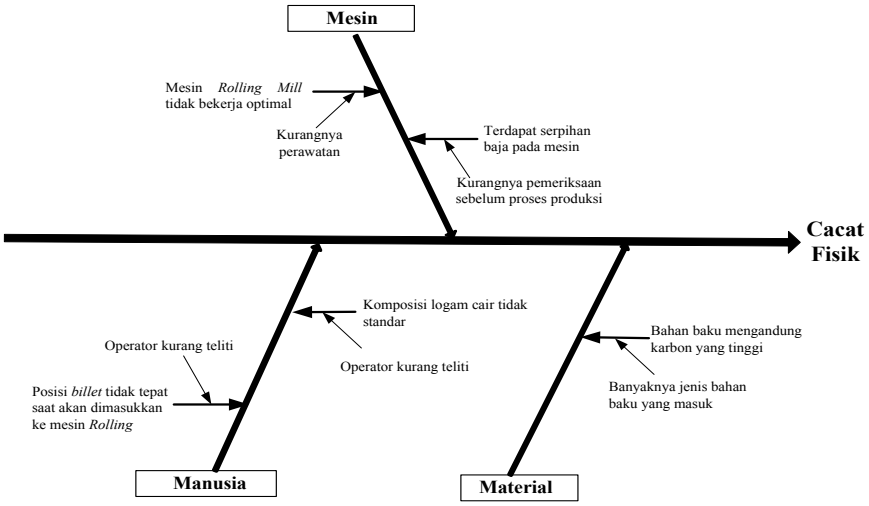


Gambar 5. Peta kontrol P

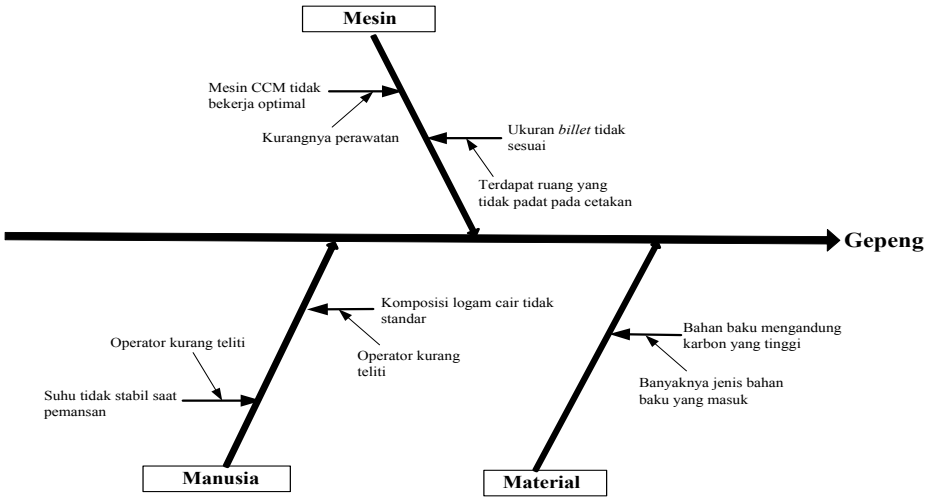
Gambar di atas memperlihatkan bahwa semua titik berada dalam batas kontrol sehingga tidak perlu dilakukan revisi. *Cause and Effect Diagram* digunakan untuk

ISBN 978-602-73461-8-5

menunjukkan faktor-faktor penyebab (sebab) yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas (akibat) pada masalah yang diteliti. Penyebab kecacatan baja dapat dilihat dari faktor mesin, manusia dan material.



Gambar 6. *Cause and effect diagram* cacat fisik



Gambar 7. *Cause and effect diagram* gepeng

FMEA adalah suatu prosedur terstruktur untuk mengidentifikasi dan mencegah sebanyak mungkin mode kegagalan (*failure mode*). FMEA digunakan untuk mengidentifikasi sumber-sumber dan akar penyebab dari suatu masalah kualitas. Secara umum, FMEA didefinisikan sebagai sebuah teknik yang mengidentifikasi tiga hal, yaitu:

1. Efek dari kegagalan.
2. Penyebab kegagalan yang mungkin terjadi.
3. Kemampuan mengendalikan atau mengontrol kegagalan yang dapat terjadi.

Nilai dari tiap *item* didapat dari berdiskusi dengan pihak-pihak yang terkait dengan proses. Dari nilai tersebut, nantinya dapat diketahui kegagalan mana yang menjadi

ISBN 978-602-73461-8-5

prioritas utama untuk segera dilakukan perbaikan agar tidak menghambat proses produksi. RPN atau *Risk Priority Number*, yaitu angka yang menyatakan skala prioritas terhadap resiko kualitas yang digunakan untuk panduan dalam melakukan tindakan perencanaan. RPN merupakan hasil perkalian dari *severity, occurrance* dan *detection.* Semakin tinggi nilai RPN, maka proses semakin beresiko untuk menghasilkan produk dengan spesifikasi yang tidak diinginkan. Hasil perhitungan FMEA yang dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil perhitungan FMEA

Mode Kegagalan	Efek Kegagalan	S	Penyebab Kegagalan	O	Metode Deteksi	D	RPN
Cacat Fisik	Sirip baja tidak sesuai dengan spesifikasi perusahaan, produk tidak layak jual sehingga akan dijadikan *scrap,* menurunnya daya lekat baja	7	Terdapat serpihan baja pada mesin	5	Periksa mesin sebelum memulai proses produksi	6	210
			Mesin *Rolling Mill* tidak bekerja optimal	7	Periksa mesin *Rolling Mill* sebelum melakukan proses produksi	7	343
			Operator kurang teliti saat menempatkan *billet* ke mesin *rolling*	6	Melakukan pengawasan intensif terhadap operator	4	168
Gepeng	Bentuk permukaan baja tidak sesuai spesifikasi, menurunnya ketahanan dan kekuatan tarik baja, produk tidak layak jual sehingga akan dijadikan *scrap*	7	Komposisi logam cair tidak standar	4	Mengecek logam cair yang telah memenuhi komposisi sesuai syarat	5	140
			Terdapat ruang yang tidak padat pada cetakan *billet*	5	Memeriksa cetakan *billet* sebelum proses produksi	4	140
			Banyaknya jenis bahan baku yang berkarbon tinggi	6	Memilih bahan baku dengan karbon yang dibutuhkan sebelum dituang ke tanur induksi	5	210

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh nilai RPN tertinggi sebesar 343 dengan penyebab kegagalan yaitu mesin *rolling mill* tidak bekerja optimal yang merupakan jenis kegagalan yang dijadikan prioritas utama untuk segera dilakukan perbaikan. Usulan perbaikan yang dapat dilakukan untuk mencegah kecacatan adalah melakukan *maintenance* secara berkala terhadap mesin *rolling mill*, melakukan pemeriksaan setiap bagian-bagian mesin penggilingan dan membersihkan sisa-sisa bahan yang masih tersangkut di mesin penggilingan agar tidak mengganggu kelancaran selama proses produksi.

Pengendalian yang digunakan saat ini belum mampu untuk menurunkan resiko kegagalan. Dari proses produksi masih ditemukan banyak kegagalan dan potensi/resiko untuk terjadinya kegagalan. Sehingga tindakan pengendalian kualitas dilakukan dengan membandingkan tindakan aktual dengan tindakan usulan yang dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Perbandingan tindakan aktual dan usulan

Faktor	Aktual	Usulan
Mesin	Umur mesin sudah tua dan tidak diperiksanya setiap bagian mesin sebelum memulai proses produksi	Melakukan *maintenance* scara berkala dan memeriksa setiap komponen mesin sebelum

ISBN 978-602-73461-8-5

Faktor	Aktual	Usulan
		memulai proses produksi
Material	Penerimaan bahan baku yang tidak disortir terlebih dahulu	Melakukan penyortiran bahan baku dan memeriksa kadar karbon pada setiap jenis bahan baku
Manusia	Kurangnya pengawasan dari kepala bagian yang dapat meyebabkan operator kurang teliti dalam melakukan tugasnya	Melakukan *briefing* sebelum bekerja dan melakukan pengawasan yang intensif

4. Kesimpulan dan Saran

Jenis kecacatan yang paling dominan yaitu jenis kecacatan cacat fisik sebesar 725.958 kg dan jenis kecacatan gepeng sebesar 626.392 kg. Penyebab terjadinya kecacatan untuk jenis kecacatan cacat fisik yaitu terdapat serpihan baja pada mesin, mesin *rolling mill* tidak bekerja optimal dan operator kurang teliti saat menempatkan *billet* ke mesin *rolling*. Sedangkan untuk jenis kecacatan gepeng yaitu komposisi logam cair tidak standar, terdapat ruang yang tidak padat pada cetakan *billet* dan banyaknya jenis bahan baku yang berkarbon tinggi.

Dari perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) diperoleh penyebab kecacatan dengan nilai RPN tertinggi yaitu mesin *rolling mill* tidak bekerja optimal dengan nilai RPN 343. Untuk mengatasi hal tersebut, tindakan korektif yang diambil adalah melakukan perawatan terhadap mesin secara berkala, memeriksa setiap komponen mesin sebelum dimulainya proses produksi dan membersihkan sisa-sisa bahan yang masih tersangkut di mesin penggilingan agar tidak mengganggu kelancaran selama proses produksi.

Selain itu nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi pada jenis kecacatan gepeng yaitu sebesar 210 untuk penyebab kegagalan karena banyaknya jenis bahan baku berkarbon tinggi. Bahan baku dengan kadar karbon tinggi dapat menurunkan ketahanan dan kekuatan baja. Usulan perbaikan yang dapat dilakukan yaitu memilih bahan baku sesuai komposisi sebelum dimasukkan kedalam tanur induksi serta meningkatkan keahlian dan pengetahuan pekerja dalam pemilihan bahan baku dengan karbon rendah agar dapat mengurangi kesalahan yang dilakukan oleh pekerja pada umumnya.

Daftar Pustaka

Basterfield, Dale H. 1998. *Quality Control,* Fifth Edition. New Jersey: Prentice Hall.

Fadil Mohd, Yunus. 2017. *A Critical Assessment on the Implementation of Statistical Quality Control Tool Among SMEs Food Industry in Malaysia*. Malaysia: IJARBSS.

Ginting, Rosnani. 2007. *Sisitem Produksi.* Yogyakarta: Graha Ilmu.

Herni Setiawan, Theresita dkk. 2017. *Risk Analysis an Priority to Determination of Risk Prevention Using Failure Mode and Effect Analysis in the Manufacturing Process of Hollow Core Slab*. Bandung: Elsevier.

Larisang, dkk. 2017. *Analisa Pengendalian Kualitas Assembly Internal Vessel Dengan Menggunakan Metode Statistical Quality Control di PT VME Process*. Batam: STT Ibnu Sina.

McDermot, Robin E. 2009. *The Basic of FMEA,* Edisi 2. USA: CRC Press.

ISBN 978-602-73461-8-5

Montgomery, Douglas C. 2009. *Introduction to Statistical Quality Control,* Sixth Edition. USA: John Wiley & Sons.
Sinulingga, Sukaria. 2013. *Metode Penelitian*. Edisi 3. Medan: USU Press.
Tunggal, Amin Widjaja. 2013. *Pengantar Manajemen Mutu*. Jakarta: Harvarindo.

ISBN 978-602-73461-8-5

Usulan Perawatan *Equipment Universal Preparing Stand* Menggunakan *Reliability Block Diagram* di PT.X

Maria Ulfah, Putro Ferro Ferdinant, Nadhilah Zahrina
Program Studi Teknik Industri, FakultasTeknik
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jalan Jenderal Sudirman KM 3 Cilegon-Banten Kode Pos: 42435
Email: maria67_ulfah@yahoo.com

Intisari

PT. X merupakan perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur yaitu mengolah baja billet menjadi baja tulangan dan baja profil. Pada tahun 2016 PT. X hanya mencapai 61.936,90 ton dari target produksi sebesar 95.700 ton. Salah satu bentuk delay yang menghambat proses produksi adalah tingginya waktu downtime equipment. Waktu downtime equipment adalah sebesar 34.665 menit dari total waktu operasi 185.167 menit. Total downtime tertinggi terjadi pada equipment Universal Preparing Stand, yaitu sebanyak 17,03% dari total waktu downtime. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sub-equipment kritis, nilai reliability berdasarkan Reliability Block Diagram, interval waktu preventive maintenance yang diusulkan, dan nilai reliability dan availability berdasarkan interval waktu preventive maintenance. Penelitian ini menggunakan metode Reliability Block Diagram. Berdasarkan hasil penelitian didapat lima sub-equipment kritis yaitu spindle bottom, manipulator, plat table, roll edger dan couple discouple. Nilai reliability eksisting Universal Preparing Stand berdasarkan Reliability Block Diagram adalah sebesar 68,74%. Interval waktu preventive maintenance yang diusulkan untuk spindle bottom adalah setiap 47 hari, manipulator adalah setiap 35 hari, plat table adalah setiap 24 hari, roll edger adalah setiap 42 hari, dan couple discouple adalah setiap 29 hari. Berdasarkan interval waktu preventive maintenance yang diusulkan, maka nilai reliability equipment akan meningkat sebesar 6,48% dengan nilai availability sebesar 0,83%.

Kata kunci: Availability, Downtime, Preventive maintenance, Reliability Block Diagram

1. Pendahuluan

Keandalan sangat erat hubungannya dengan perawatan (*maintenance*). *Maintenance* merupakan salah satu cara efektif untuk meningkatkan keandalan suatu sistem (Djunaidi dan Sufa, 2007). Perawatan dilakukan sebagai usaha untuk memperpanjang usia suatu fasilitas produksi sehingga dapat bekerja secara aman, efisien, dan optimal. Menurut Corder (1996) perawatan terbagi menjadi dua, yaitu perawatan terencana dan perawatan tak terencana. Sedangkan berkaitan perawatan mesin menurut Praharsi, dkk (2015) setiap mesin memiliki pola kerusakan yang berbeda, sementara untuk waktu melaksanakan perawatan menurut Tanurahardja (2009) keputusan yang berkaitan dengan masalah probabilitas, seperti menentukan waktu melaksanakan perawatan pencegahan untuk suatu peralatan, membutuhkan informasi mengenai saat atau waktu peralatan tersebut akan mencapai kondisi gagal atau rusak. Menurut Winata, dkk (2013) transisi suatu peralatan dari kondisi baik ke gagal tidak bisa diketahui secara pasti waktunya, tetapi dapat diketahui informasi mengenai probabilitas terjadinya transisi tersebut pada waktu tertentu berdasarkan fungsi

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

kerusakannya.

PT. X merupakan perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur yaitu mengolah baja billet menjadi baja tulangan dan baja profil. Pada tahun 2016 PT. X hanya mencapai 61.936,90 ton dari target produksi sebesar 95.700 ton. Salah satu bentuk *delay* yang menghambat proses produksi adalah tingginya waktu *downtime equipment*. Waktu *downtime equipment* adalah 34.665 menit dari total waktu operasi 185.167 menit. Total *downtime* tertinggi terjadi pada *equipment Universal Preparing Stand*, yaitu sebanyak 17,03% dari total waktu *downtime*.

Kebijakan perawatan *preventive maintenance* seperti pemeriksaan rutin setiap dua minggu sekali dan sebulan sekali sudah dijalankan oleh perusahaan, namun *downtime* yang masih cukup tinggi mengindikasikan bahwa kegiatan perawatan belum berjalan secara maksimal. Salah satu penyebabnya adalah akibat salah sasaran saat melakukan pengecekan pada *Universal Preparing Stand*.

Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut dilakukan penelitian untuk mengetahui *sub-equipment* apa saja yang memiliki waktu *downtime* yang tinggi (bersifat kritis) sehingga pekerja perawatan dapat dengan mudah menentukan *sub-equipment* mana yang perlu mendapat perhatian lebih. Tepat sasaran pada saat melakukan pengecekan pada *equipment* penting sekali untuk menghemat waktu dan tenaga karena *Universal Preparing Stand* adalah *equipment* yang sangat besar dan memiliki banyak *sub-equipment*. Penelitian ini menggunakan metode *Reliability Block Diagram* (RBD) untuk menghitung keandalan sistem *Universal Preparing Stand*. *Reliability Block Diagram* (RBD) merupakan suatu alat yang digunakan untuk menganalisa keandalan (*reliability*) sistem dengan menggunakan diagram blok.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui *sub-equipment* kritis, nilai keandalan (*reliability*) *Universal Preparing Stand* berdasarkan *Reliability Block Diagram*, interval waktu *preventive maintenance* yang diusulkan, dan nilai keandalan (*reliability*) dan ketersediaan (*availability*) berdasarkan interval waktu *preventive maintenance*.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer terdiri dari blok diagram *equipment Universal Preparing Stand* berdasarkan *sub-equipment* kritis, gambaran umum perusahaan dan usulan waktu *Time to Repair*. Data sekunder dalam penelitian ini adalah data *downtime* unit mekanik *Section Mill* dan data *downtime* unit mekanik *Universal Preparing Stand* dari Januari 2016 hingga Maret 2017 yang dibuat oleh Divisi Perawatan.

Tahapan pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan *sub-equipment* kritis *Universal Preparing Stand* berdasarkan *downtime* tertinggi menggunakan Diagram Pareto.
2. Menghitung waktu kerusakan (*Time Between Failure*) *sub-equipment* kritis.
3. Menghitung nilai *index of fit* distribusi normal, eksponensial dan Weibull menggunakan pendekatan *least square curve fitting*.
4. Memilih distribusi dengan nilai *index of fit* terbesar.
5. Menguji distribusi terpilih (uji *goodness of fit*) menggunakan uji spesifik (Uji Bartlett untuk menguji distribusi eksponensial, Uji Mann untuk menguji distribusi Weibull, dan Uji Kolmogorov-Smirnov untuk menguji distribusi normal). Jika ditolak maka

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

memilih distribusi dengan nilai *index of fit* terbesar selanjutnya dan kembali melakukan uji *goodness of fit*. Jika diterima, maka lanjut ke langkah selanjutnya.

6. Menghitung parameter sesuai distribusi terpilih dengan pendekatan *Maximum Likelihood Estimator*.
7. Menghitung *Mean Time Between Failure* dan keandalan (*reliability*) setiap *sub-equipment* kritis sesuai dengan distribusi terpilih.
8. Menghitung keandalan (*reliability*) *Universal Preparing Stand* menggunakan *Reliability Block Diagram*.
9. Menghitung keandalan *sub-equipment* kritis dan *Universal Preparing Stand* berdasarkan usulan yang diberikan.
10. Menentukan interval waktu *preventive maintenance sub-equipment* kritis berdasarkan usulan.
11. Menghitung ketersediaan (*availability*).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Penentuan *Sub-equipment* Kritis

Menentukan *sub-equipment* kritis menggunakan Diagram Pareto berdasarkan data *downtime* Januari 2016 hingga Maret 2017.

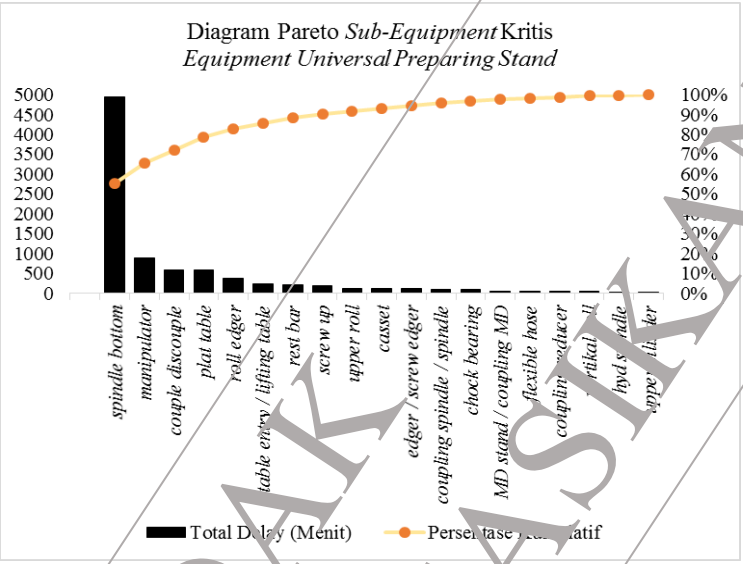
Tabel 1. Penentuan *Sub-equipment* Kritis

Sub-Equipment	*Total Downtime* (Menit)	Persentase	Persentase Kumulatif
Spindle Bottom	4.935	55,86%	55,86%
Manipulator	900	10,19%	66,04%
Couple Disc Taple	590	6,68%	72,72%
Plat Table	530	6,00%	78,72%
Roll Edger	375	4,24%	82,97%
Table Entry	240	2,72%	85,68%
Rest Bar	220	2,49%	88,17%
Screw Up	190	2,15%	90,32%
Upper Roll	135	1,53%	91,85%
Casset	120	1,36%	93,21%
Edger	120	1,36%	94,57%
Coupling Spindle	105	1,19%	95,76%
Chock Bearing	90	1,02%	96,77%
MD Stand	65	0,74%	97,51%
Flexible Hose	60	0,68%	98,19%
Coupling Reducer	60	0,68%	98,87%
Vertical Roll	45	0,51%	99,38%
Hyd Spindle	30	0,34%	99,72%
Upper Silinder	25	0,28%	100%
Total	**8.835**	**100%**	

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Berdasarkan Tabel 1, maka dibuat Diagram Pareto seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Diagram pareto

Dari Diagram Pareto di atas dapat diketahui terdapat lima *sub-equipment* kritis yaitu *spindle bottom*, *manipulator, couple discouple, plat table* dan *roll edger* karena persentase kumulatif *downtime* di atas 80%.

3.2. Perhitungan *Time Between Failure* (TBF)

Time Between Failure (TBF) adalah waktu selang antar kerusakan suatu komponen yang dihitung dari waktu mulai kerusakan pertama hingga waktu mulai kerusakan selanjutnya (Ebeling,1997). Berikut ini merupakan hasil perhitungan TBF *spindle bottom*:

Tabel 2. Perhitungan TBF *spindle bottom*

No	Waktu Mulai		Waktu Selesai		TTF (Menit)	TTR (Menit)	TBF (Menit)
1	06/12/2016	22:00	07/12/2016	3:00		300	
2	07/12/2016	3:00	07/12/2016	6:30	180	30	480
3	07/12/2016	14:00	08/12/2016	17:30	450	1.650	480
4	16/12/2016	22:00	17/12/2016	4:10	11.790	370	13.440
5	17/12/2016	6:15	18/12/2016	2:00	125	1.185	495
6	20/03/2017	22:00	21/03/2017	21:25	133.680	1.395	134.865

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

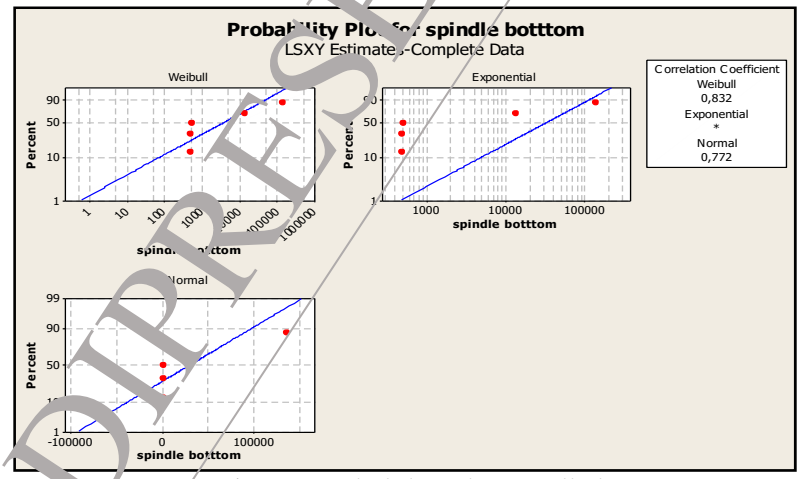
3.3. Identifikasi distribusi awal

Perhitungan *index of fit* bertujuan untuk menentukan kandidat distribusi yang sesuai dengan TBF *sub-equipment* kritis. Perhitungan *index of fit* menggunakan metode *least square curve fitting* dan menggunakan bantuan *software* Minitab 16. Berikut ini merupakan rekapitulasi kandidat distribusi masing-masing *sub-equipment* kritis.

Tabel 3. Rekapitulasi kandidat distribusi

No	*Sub-Equipment*	Distribusi	*Index of fit*
1	*Spindle Bottom*	Eksponensial	0,9
		Weibull	0,83
		Normal	0,77
2	*Manipulator*	Weibull	0,97
		Eksponensial	0,95
		Normal	0,[illegible]
3	*Plat Table*	Weibull	0,97
		Eksponensial	0,[illegible]
		Normal	0,86
4	*Couple Discouple*	Eksponensial	-
5	*Roll Edger*	Eksponensial	-

Couple discouple dan *Roll edger* tidak dihitung nilai *index of fit* karena hanya memiliki 1 data TBF, sementara untuk menghitung nilai *index of fit* dibutuhkan minimal 2 data TBF. Penentuan kandidat distribusi untuk kedua *sub-equipment* tersebut menggunakan *software* Minitab 16. Berikut ini merupakan contoh penentuan kandidat distribusi *spindle bottom* menggunakan *software* Minitab 16. Gambar 2 berikut menunjukkan bahwa hasil perhitungan *index of fit* dan *software* Minitab 16 adalah sama.



Gambar 2. *Probability plot spindle bottom*

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

3.4. Uji *Goodness of Fit*

Setelah menentukan kandidat distribusi, untuk menentukan distribusi mana yang sesuai adalah dengan cara melakukan uji *goodness of fit* (kesesuaian distribusi) Uji *goodness of fit* setiap *sub-equipment* kritis dilakukan mulai dari kandidat distribusi yang memiliki nilai *index of fit* terbesar. Uji *goodness of fit* dilakukan dengan uji spesifik dan *software* Minitab 16. Berikut ini tahapan uji spesifik *goodness of fit* untuk *spindle bottom*.

1. Uji Bartlett ($\alpha = 0{,}05$)

Tabel 4. Uji Bartlett *Spindle Bottom*

No.	t_i	x_i
1.	480	6,17
2.	480	6,17
3.	495	6,20
4.	13.440	9,51
5.	134.880	11,81
Jumlah	149.775	39,86

$X^2_{1-\frac{\alpha}{2},r-1} = X^2_{0{,}975;4} = 0{,}48$ (didapat dari tabel *chi-square*)

$X^2_{\frac{\alpha}{2},r-1} = X^2_{0{,}025;4} = 11{,}14$ (didapat dari tabel *chi-square*)

$B = 19{,}45$ (menggunakan persamaan 21)

Nilai B tidak berada di wilayah kritis, maka H_0 ditolak. Maka uji *goodness of fit* selanjutnya adalah untuk distribusi Weibull karena memiliki nilai *index of fit* terbesar kedua.

1. Uji Mann ($\alpha = 0{,}05$)

Tabel 5. Uji Mann *Spindle Bottom*

No.	t_i	ln t_i	Z_i	M_i	(ln t_{i+1}-ln t_i)/M_i
1.	480	6,17	-2,3	1,21	0
2.	480	6,17	-1,09	0,65	0,05
3.	495	6,2	-0,44	0,53	6,23
4.	13.440	9,51	0,09	0,57	4,03
5.	134.880	11,81	0,67		
Jumlah	149.775	39,86	-3,07	2,96	10,31

$F_{erit(\alpha,v_1,v_2)} = F_{erit(0{,}05;4;5)} = 5{,}19$ (didapat dari tabel F)

$M = 272{,}33$ (menggunakan persamaan 22)

Nilai $M > F_{erit(0{,}05;4;5)}$ maka kesimpulan yang dapat diambil adalah data kerusakan *spindle bottom* tidak berdistribusi Weibull.

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

2. Uji Kolmogorov-Smirnov ($\alpha = 0{,}05$)

Tabel 6. Uji Kolmogorov-Smirnov *Spindle Bottom*

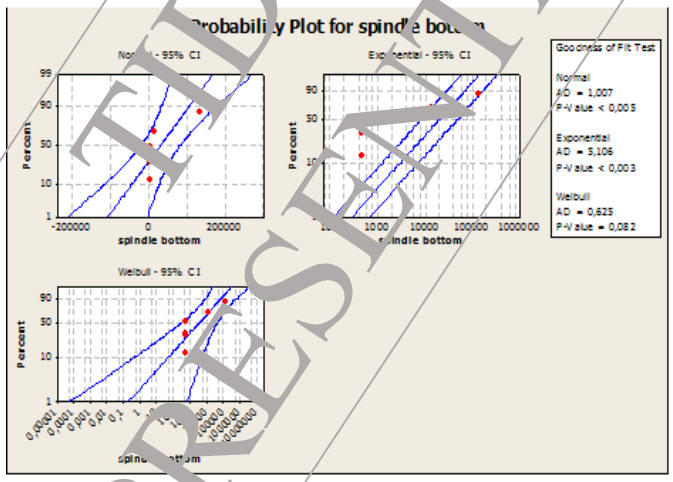
No	t_i	t_i-tbar	S	(t_i-tbar)/s	*Cum. Probability*	(i-1)/n	i/n	D_1	D_2
1	480	-29.475		-0,5	0,31	0	0,2	0,31	-0,11
2	480	-29.475		-0,5	0,31	0,2	0,4	0,11	0,09
3	495	-29.460	58.922,50	-0,5	0,31	0,4	0,6	-0,09	0,29
4	13.440	-16.515		-0,28	0,39	0,6	0,8	-0,21	0,41
5	134.880	104.925		1,78	0,96	0,8	1	0,16	0,04
Jml	**149.775**								

Cum.Probability didapat dari tabel normal

$D_n = Max\ \{0{,}31, 0{,}41\} = 0{,}41$

$D_{erit0,05} = 0{,}337$ (didapat dari *tabel critical value for* Kolmogorov-Smirnov)

Nilai $D_n > D_{erit,0,05}$ maka kesimpulan yang dapat diambil adalah data kerusakan *spindle bottom* tidak berdistribusi normal. Berdasarkan perhitungan manual uji spesifik, data tidak berdistribusi eksponensial, Weibull maupun normal. Selain dengan perhitungan manual, uji *goodness of fit* bisa dilakukan dengan bantuan *software* Minitab 16. Berikut ini merupakan uji *goodness of fit spindle bottom* menggunakan Minitab 16.



Gambar 3. Uji *Goodness of Fit* Minitab 16 *Spindle Bottom*

Berdasarkan Gambar 3, didapat bahwa data terdistribusi Weibull karena memiliki nilai Anderson-Darling terkecil. Hasil perhitungan uji *goodness of fit* dari *sub-equipment spindle bottom* secara manual dan *software* berbeda. Seharusnya hasil dari *software* sama atau mendekati hasil perhitungan manual karena keduanya berdasarkan data yang sama. Sehingga kesimpulan distribusi terpilih untuk *sub-equipment spindle bottom* dapat diambil melalui perbandingan karakteristik distribusi dengan nilai *index of fit* tertinggi. Nilai *index of fit* tertinggi dimiliki oleh distribusi eksponensial dan Weibull.

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Distribusi yang dipilih untuk *sub-equipment spindle bottom* adalah Weibull karena distribusi ini sering dipakai untuk merepresentasikan data kerusakan. Kelebihan distribusi ini adalah memiliki bentuk yang relatif sederhana. Namun parameter bentuk (β) yang dimiliki distribusi ini membuat distribusi ini dapat memodelkan berbagai macam bentuk distribusi lain seperti eksponensial ($\beta = 1$) dan normal ($3 \leq \beta \leq 4$). Berikut ini rekapitulasi distribusi terpilih masing-masing *sub-equipment* kritis.

Tabel 7. Rekapitulasi distribusi

No	*Sub-equipment*	Keputusan
1	*Spindle Bottom*	Weibull
2	*Manipulator*	Weibull
3	*Plat Table*	Weibull
4	*Roll Edger*	Eksponensial
5	*Couple Discouple*	Eksponensial

3.5. Perhitungan parameter distribusi

Parameter merupakan suatu ukuran yang merepresentasikan karakteristik dari obyek yang sedang diamati. Pada penelitian ini, parameter distribusi merepresentasikan karakteristik dari data kerusakan yang diamati. Setiap distribusi kerusakan memiliki parameter yang berbeda. β dan θ untuk parameter distribusi Weibull, sementara λ untuk parameter distribusi eksponensial. Distribusi Weibull memiliki parameter β dan θ. Nilai β memberikan gambaran mengenai proses kegagalan (Ebeling, 1997)

Perhitungan parameter distribusi dilakukan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimator*. Rekapitulasi parameter distribusi setiap *sub-equipment* ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 8. Parameter distribusi

No	*Sub-equipment*	β	θ	λ	Sifat Laju Kerusakan
1	*Spindle Bottom*	0,33	12.622,25		Menurun (DFR)
2	*Manipulator*	0,5	31.236,03		Menurun (DFR)
3	*Plat Table*	0,58	28.723,10		Menurun (DFR)
4	*Roll Edger*			$1{,}39 \times 10^{-5}$	Konstan (CFR)
5	*Couple Discouple*			$2{,}18 \times 10^{-5}$	Konstan (CFR)

3.6. Perhitungan MTBF dan *Reliability*

Mean Time Between Failure (MTBF) adalah rata-rata interval waktu antar kerusakan dan hanya dimiliki oleh komponen yang *repairable* (seperti komponen mekanik). Perhitungan MTBF untuk setiap distribusi berbeda. *Reliability* yaitu probabilitas komponen

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

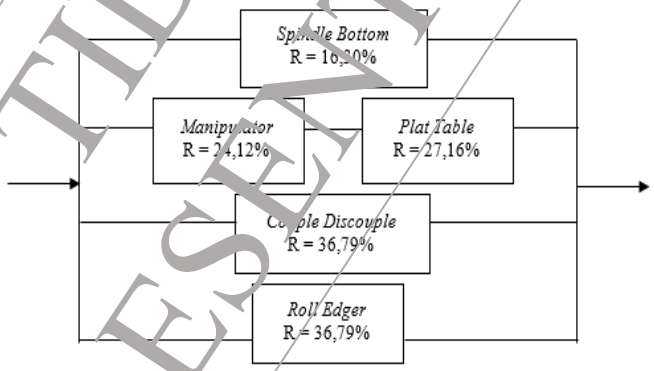
akan beroperasi sesuai dengan fungsinya. Semakin lama komponen beroperasi maka semakin kecil *reliability* (Anindita, 2013). Berikut ini rekapitulasi MTBF dan *reliability* masing-masing *sub-equipment* kritis.

Tabel 9. Rekapitulasi MTBF dan *Reliability*

No	*Sub-Equipment*	MTBF		$R_{(t)}$
		(Menit)	(Hari)	
1	*Spindle Bottom*	75.059,35	53	16,30%
2	*Manipulator*	63.596,24	45	24,12%
3	*Plat Table*	45.434,18	32	27,16%
4	*Roll Edger*	72.105,90	51	36,79%
5	*Couple Discouple*	45.791,14	32	36,79%

3.7. *Reliability Block Diagram*

Reliability Block Diagram merupakan suatu pendekatan yang digunakan untuk menentukan keandalan sistem menggunakan diagram blok. Berikut ini merupakan diagram blok eksisting *equipment Universal Preparing Stand* berdasarkan *sub-equipment* kritis.



Gambar 4. RBD

Rangkaian Seri { Manipulator, Plat tble}
Rs = (24,12%) x (27,16%) = 6,55%
Rangkaian Paralel
Rp = 1 – [(1-6,55%) x (1-16,30%) x (1-36,79%) x(1-36,79%) = 68,74%.

3.8. Usulan MTBF

MTBF usulan diberikan untuk menentukan jadwal *maintenance*. MTBF usulan didapatkan dengan pendekatan *trial error* dan bilangan acak pada *software* Microsoft Excel.

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 10 . Usulan MTBF

No	*Sub-equipment*	MTBF (Hari)	MTBF (Menit)	$R_{(t)}$
1	*Spindle Bottom*	47	67.609,82	17,34%
2	*Manipulator*	35	49.547,43	28,46%
3	*Plat Table*	24	33.788,26	33,34%
4	*Roll Edger*	42	59.594,53	43,76%
5	*Couple Discouple*	29	40.700,49	41,11%

Berdasarkan MTBF dan keandalan (*reliability*) masing-masing *sub-equipment* kritis, maka didapatkan peningkatan keandalan *equipment Universal Preparing Stand* menjadi 75,22%.

3.9. Penentuan jadwal *maintenance* usulan

Berdasarkan MTBF usulan maka dapat dibuat penjadwalan kegiatan *preventive maintenance* dari bulan April 2017 hingga Juni 2018. Penjadwalan *maintenance* ini akan membandingkan antara *corrective maintenance* (berdasarkan MTBF eksisting) dan *preventive maintenance* (berdasarkan MTBF usulan). Berikut ini jadwal *maintenance* untuk *spindle bottom*:

Gambar 5. Jadwal *maintenance spindle bottom*

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

3.10. Perhitungan *availability*

Perhitungan *availability* dilakukan untuk membandingkan *availability* saat melakukan *corrective maintenance* dan *preventive maintenance*. *Availability* menunjukkan kemampuan *equipment* untuk memanfaatkan waktu yang ada untuk beroperasi. Apabila nilai *availability* tinggi maka nilai *downtime* rendah, sehingga kemampuan suatu *equipment* dalam memanfaatkan waktu yang ada untuk beroperasi semakin baik. Berikut ini rekapitulasi *downtime.*

Tabel 11. Rekapitulasi *downtime*

No	*Sub-equipment*	TTR Usulan (menit)		Total *Downtime* (menit)	
		Corrective	*Preventive*	*Corrective*	*Preventive*
1	*Spindle Bottom*	180	30	1.440	270
2	*Manipulator*	240	15	2.400	19
3	*Plat Table*	75	30	1.050	540
4	*Roll Edger*	180	15	1.440	15
5	*Couple Discouple*	60	30	840	4
	Jumlah			**7.17**	**05**

Loading time merupakan waktu yang tersedia untuk mesin beroperasi. Perhitungan *loading time* adalah sebagai berikut:

Loading Time = 465 hari x 24 jam x 60 menit
= 669.600

Berdasarkan persamaan (1), berikut ini merupakan perhitungan *availability* saat melakukan *corrective maintenance* adalah sebagai berikut:

$$Availability = \frac{669.600 - 7.170}{669.600} = 98{,}93\%$$

Berdasarkan persamaan (1), berikut ini merupakan perhitungan *availability* saat melakukan *preventive maintenance* adalah sebagai berikut:

$$Availability = \frac{669.600 - 1.605}{669.600} = 99{,}76\%$$

Berdasarkan perhitungan *availability* didapat persentase *availability* saat melakukan *corrective maintenance* adalah sebesar 98,93%, sementara persentase *availability* saat melakukan *preventive maintenance* adalah sebesar 99,76%. Dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan *availability* saat melakukan *preventive maintenance*.

DIPRESENTASIKAN TIDAK

ISBN 978-602-73461-8-5

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Diperoleh lima *Sub-equipment* kritis *Universal Preparing Stand* terdiri dari *spindle bottom, manipulator, plat table, roll edger*, dan *couple discouple*.
2. Nilai keandalan *Universal Preparing Stand* berdasarkan *Reliability Block Diagram* dari bulan Januari 2016 hingga Maret 2017 adalah sebesar 68,74%.
3. Usulan interval *waktu preventive maintenance* untuk kegiatan inspeksi dan pelumasan *sub-equipment spindle bottom* adalah setiap 47 hari. Untuk kegiatan inspeksi, kalibrasi dan pengencangan *sub-equipment manipulator* adalah setiap 35 hari. Untuk kegiatan inspeksi dan penyesuaian *sub-equipment plat table* adalah setiap 24 hari. Untuk kegiatan inspeksi, lubrikasi dan pembersihan *sub-equipment roll edger* adalah setiap 42 hari. Untuk inspeksi dan penyesuaian *sub-equipment couple discouple* adalah setiap 29 hari.
4. Berdasarkan interval waktu *preventive maintenance* yang diusulkan, maka nilai keandalan *equipment* meningkat sebesar 6,48% dan nilai *availability* sebesar 0,83%.

Daftar Pustaka

Anindita., Ratri Wijaya., 2013, Identifikasi Pola Kerusakan Komponen Kritis Pada Mesin EAF dengan Simulasi Monte Carlo, *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 1 No. 4 : 316-321.

Corder., Anthony., 1996, *Teknik Manajemen Pemeliharaan (Terjemahan Kusnul Hadi)*. Erlangga ,Jakarta.

Ebeling., Charles W., 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Tata McGraw-Hill Education, New York.

Praharsi, Y., 2015, Perancangan Penjadwalan Preventive Maintenance Pada PT. Artha Prima Sukses Makmur, *Jurnal Ilmiah Teknik Industri* , Vol. 14 No. 1: 59 – 65.

Sufa., M.F dan Djunaidi., M., 2007, Usulan Interval Perawatan Komponen Kritis Pada Mesin Pencetak Botol (Mould Gear) Berdasarkan Kriteria Minimasi Downtime, *Jurnal Teknik Gelegar*, Vol 18 No 01 : 33-41

Tanurahardja., W.O., 2009, Penjadwalan Preventive Maintenance di PT. Wahana Lentera Raya, *Widya Teknik.*, Vol. 8 (1), pp. 86-96.

Winata, I.A., dkk., 2013, Penjadwalan Perawatan dan Penggantian Spare-Parts di PO. X, Bojonegoro, *Calyptra: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Surabaya*, Vol. 2 (2), pp. 1-12.

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Perbaikan Kualitas Ikan Bandeng dengan Pendekatan *Seven Tools* di Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Lumpur Gresik

Moh. Ririn Rosyidi, Hermanto
Program Studi Teknik Industri, Sekolah Tinggi Teknik Qomaruddin
Jl. Bungah No.01 Bungah, Gresik 61151
Telp. 085730818186
Email : mohammadrosyidi@gmail.com

Intisari

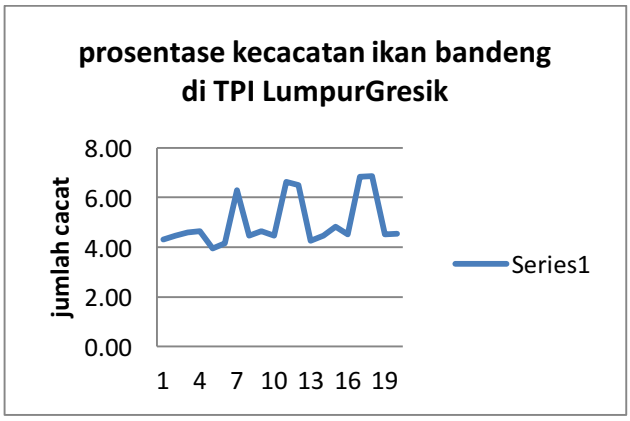
Gresik memiliki sub sektor perikanan produksi sebesar 113.464,18 ton (Badan Pusat Statistik, 2015), kurangnya perhatian mengenai kualitas ikan bandeng di tempat pelelangan ikan (TPI) Gresik yang masih ditemukan kecacatan ikan bandeng. Maka dari itu bagaimana cara untuk memperkecil tingkat kecacatan ikan bandeng dan melakukan perbaikan kualitas ikan bandeng di tempat pelelangan ikan (TPI) Gresik sehingga tidak terjadi kecacatan lagi. Dengan menggunakan metode seven tools akan diketahui penyebab terjadinya cacat ikan bandeng pada saat pemanenan ikan bendeng di petani sebelum dijual ke tempat pelelangan ikan (TPI) Gresik. Dapat dilihat terjadi jenis kecacatan ikan bandeng khususnya pada sisik ikan bandeng yang mengalami cacat yang paling tinggi yaitu 2252 ekor ikan bandeng, cacat insang ikan warna putih pucat sebanyak 111 ekor ikan bandeng, cacat warna mata ikan merah sebanyak 96 ekor ikan bandeng. Perbaikan menggunakan root cause analysis memberikan pemahaman, pengarahan, pengertian, dan metode penangkapan pada petani budidaya ikan bandeng mengenai pentingnya kualitas yang harus melalui proses yang sesuai.

Kata kunci: Seven Tools, Root Cause Analysis

1. Pendahuluan

Gresik merupakan kota yang sebagian besarnya merupakan lahan pertanian, yaitu meliputi sub sektor pertanian pangan, sub sektor perikanan, sub sektor peternakan, dan sub sektor perkebunan. Sub sektor perikanan merupakan sub sektor yang memiliki produksi yang cukup besar setelah sub sektor pertanian pangan. Pada tahun 2014 sub sektor pertanian pangan memiliki produksi terbesar di Gresik sebesar 393.802,02 ton dan sub sektor perikanan memiliki produksi sebesar 113.464,18 ton (Badan Pusat Statistik, 2015). Para petani budidaya ikan khususnya di Kota Gresik sebagian besar membudidayakan ikan Bandeng karena intensitas kehidupan pada ikan Bandeng sangatlah tinggi, dan mudah untuk di budidayakan baik di air payau atau air asin (mudah beradaptasi), hasil dari budidayah ikan bandeng akan dijual ke Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Lumpur Gresik satu-satunya tempat penjualan yang hasil ikannya dari petani tambak. Di Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Lumpur Gresik mempunyai masalah mengenai kecacatan ikan bandeng dengan beragam jenis cacat pada ikan bandeng, dapat dilihat darigrafik sebagai berikut.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 1. Persentase kecacatan ikan bandeng

Di Kota Gresik ada tradisi berjualan bandeng atau yang biasa dikenal dengan sebutan Pasar Bandeng di Gresik, biasa dilakukan setiap menjelang Lebaran. Tahun ini, ajang yang ditunggu-tunggu para warga Gresik dan petani tambak tersebut diselenggarakan pada Senin (11/6/2018) hingga Rabu (13/6/2018) malam yang tempatnya tidak jauh dari Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Gresik. Untuk edisi kali ini, ada puluhan pedagang yang coba mengais rezeki dari berjualan ikan bandeng. Bandeng yang dijual bervariasi. Mulai yang berukuran kecil, sedang, hingga yang menjadi idola, bandeng berukuran besar. Bandeng yang dijual, tidak hanya berasal dari tambak petani ikan di wilayah Gresik. Mereka berjajar rapi dalam stan berukuran 1x1,5 meter yang disediakan Dinas Koperasi Usaha Mikro dan Perindag (Diskoperindag) Kabupaten Gresik. Tepatnya di depan pasar tradisional Gresik di Jalan Raya Samanhudi hingga di sebagian Jalan Raya Gubernur Suryo. "Saya sendiri sudah beberapa kali jualan bandeng, dalam rangka pasar bandeng seperti ini. Hasilnya cukup lumayan, karena orang-orang biasa beli bandeng untuk disajikan saat Hari Raya (Lebaran) nanti," ujar salah satu pedagang, Abdul Somad (57), Rabu (13/6/2018). Pada acara kali ini, harga bandeng bervariasi. Bandeng termurah yang berbobot 1 kg dihargai Rp 45.000-60.000. Bandeng 2 kg dijual Rp 110.000-120.000, dan bandeng 3 kg seharga Rp 180.000-190.000. Apalagi, pembeli juga membutuhkan bandeng-bandeng tersebut sebagai sajian di Hari Raya Idul Fitri nanti.

Gambar 2. Kondisi ikan bandeng
Sumber: Kompas (2018)

Dari Gambar 2 di atas dapat dilihat kondisi ikan Bandeng tersebut mengalami kerusakan atau penurunan kualitas secara fisik yaitu warna mata ikan merah, sisik ikan tidak lengkap, dan ini akan mempengaruhi harga jual ikan bandeng tersebut dan kesegaran ikan bandeng juga mengalami penurunan. Ini haruslah diperhatikan baik pembudidayakan

ISBN 978-602-73461-8-5

ikan bandeng dan juga penjual ikan bandeng, agar perlu diperhatikan mengenai perlakuan ikan atau pengelolahan ikan bandeng tersebut.

Untuk memperkecil tingkat kecacatan ikan bandeng maka diperlukan penelitian supaya tidak terjadi kecacatan ikan bandeng, dan penelitian ini berguna bagi petani tambak (budidaya ikan bandeng) supaya menghasilkan kualitas ikan bandeng yang *fresh* atau segar dari petani tambak akan mendapatkan harga yang baik.

Kualitas dapat diartikan dari dua verspektif, yaitu dari sisi konsumen dan sisi produsen. Namun pada dasarnya konsep dari kualitas sering dianggap sebagai kesesuaian, keseluruhan ciri-ciri atau karakteristik suatu produk yang diharapkan oleh konsumen. Adapun pengertian kualitas menurut American Society For Quality yang dikutip oleh Heizer, Jay., Render, B, (2006:253): *"Quality is the totality of features and characteristic of a product or servicethat bears on it's ability to satisfy stated or implied need.*" Artinya kualitas/mutu adalah keseluruhan corak dan karakteristik dari produk atau jasa yang berkemampuan untuk memenuhi kebutuhan yang tampak jelas maupun yang tersembunyi.

Untuk memecahkan masalah kualitas tujuh alat QC yang digunakan adalah *Pareto Diagram, Penyebab & Effect Diagram, Histogram, kontrol Charts,* Menyebarkan Diagram, Grafik dan Periksa *Sheets*. Semua alat ini adalah alat penting yang digunakan secara luas di bidang manufaktur untuk memantau keseluruhan operasi dan perbaikan proses yang berkesinambungan. Alat ini digunakan untuk mengetahui akar penyebab dan menghilangkan mereka, sehingga proses manufaktur dapat ditingkatkan. Modus cacat pada lini produksi diselidiki melalui pengamatan langsung pada lini produksi dan alat statistik sumber Varsha M. Magar, Dr. Vilas B. Shinde (2014).

Untuk memperbaiki masalah yang berada di Tempat Pelalangan Ikan (TPI) Lumpur Gresik menggunakan metode *seven tools* adalah alat uang digunakan untuk menganalisis suatu kecacatan produk, alat bantu dalam pengendalian kualitas, yaitu:

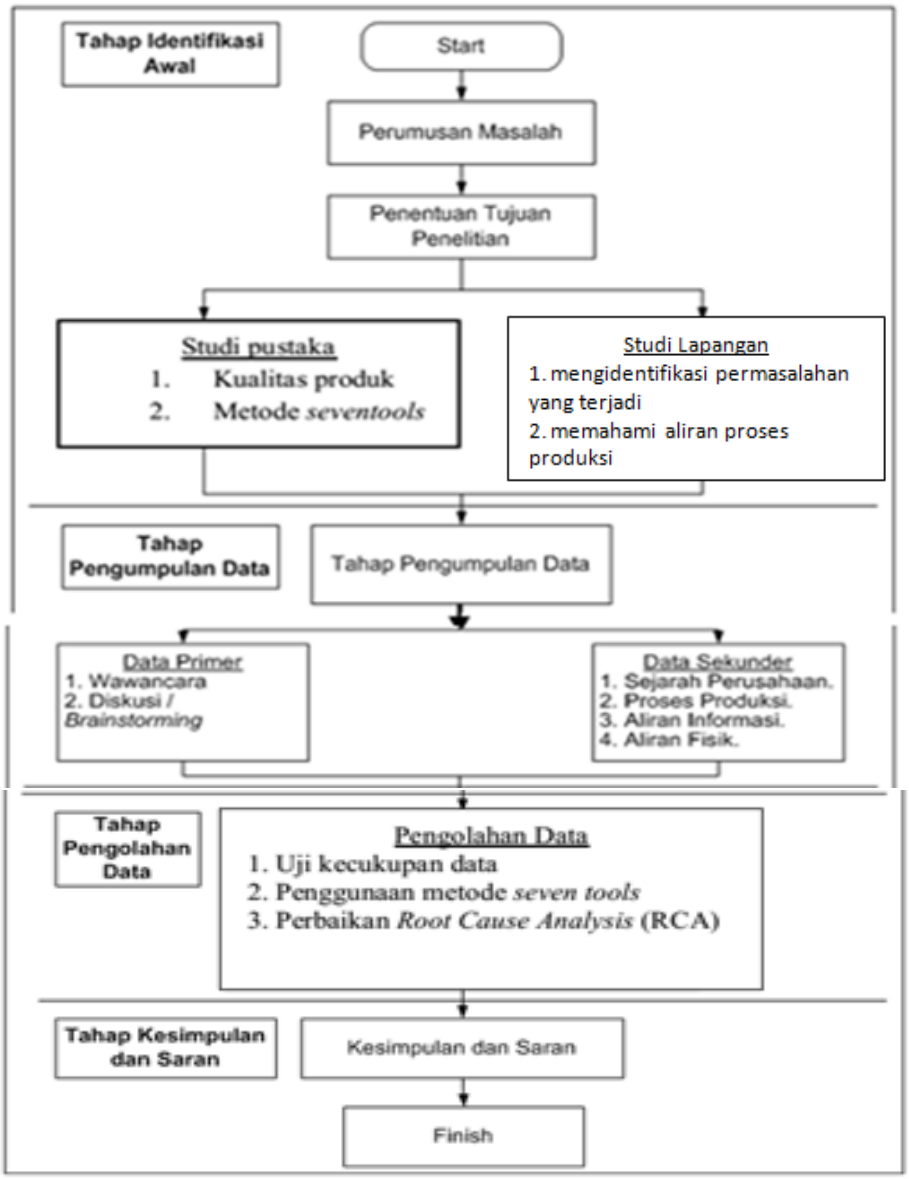
1. Lembar Pemeriksaan (*Check Sheet)*
2. Diagram Sebar *(Scatter Diagram)*
3. Diagram Sebab akibat (*Fish Bone)*
4. Diagram Pareto *(Pareto Analysis)*
5. Stratifikasi *(flowchart)*
6. *Histogram*
7. Peta Kendali *(Control Chart)*

Dan akan dilanjutkan dengan menggunakan metode *Root Cause Analysis* (RCA) untuk perbaikan kecacatan pada ikan bandeng di Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Lumpur Gresik, Menurut Jucan (2005), *Root Cause Analysis* (RCA) merupakan suatu metodologi untuk mengidentifikasi dan mengoreksi sebab-sebab yang fungsional. Metode *Root Couse Analysis* (RCA) sangat berguna untuk menganalisis suatu kegagalan sistem tentang hal yang tidak diharapkan yang terjadi, bagaimana hal itu bisa jadi, dan mengapa hal itu bisa terjadi.

2. Metode

Metode penelitian ini terdiri dari tahapan proses penelitian atau urutan langkah-langkah yang harus dilakukan peneliti dalam melakukan penelitian. Adapun tahapan-tahapannya adalah sebagai berikut:

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 3. *Flowchart* penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Uji kecukupan data

Perhitungan uji kecukupan data dilakukan dengan tingkat kepercayaan 95% dan ketelitian 5% adalah sebagai berikut:

$$N' = \left(\frac{40\sqrt{N \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2}}{\sum Xi} \right)$$

$$= \left(\frac{40\sqrt{20\,(3160800)^2 - (7920)^2}}{7920} \right)$$

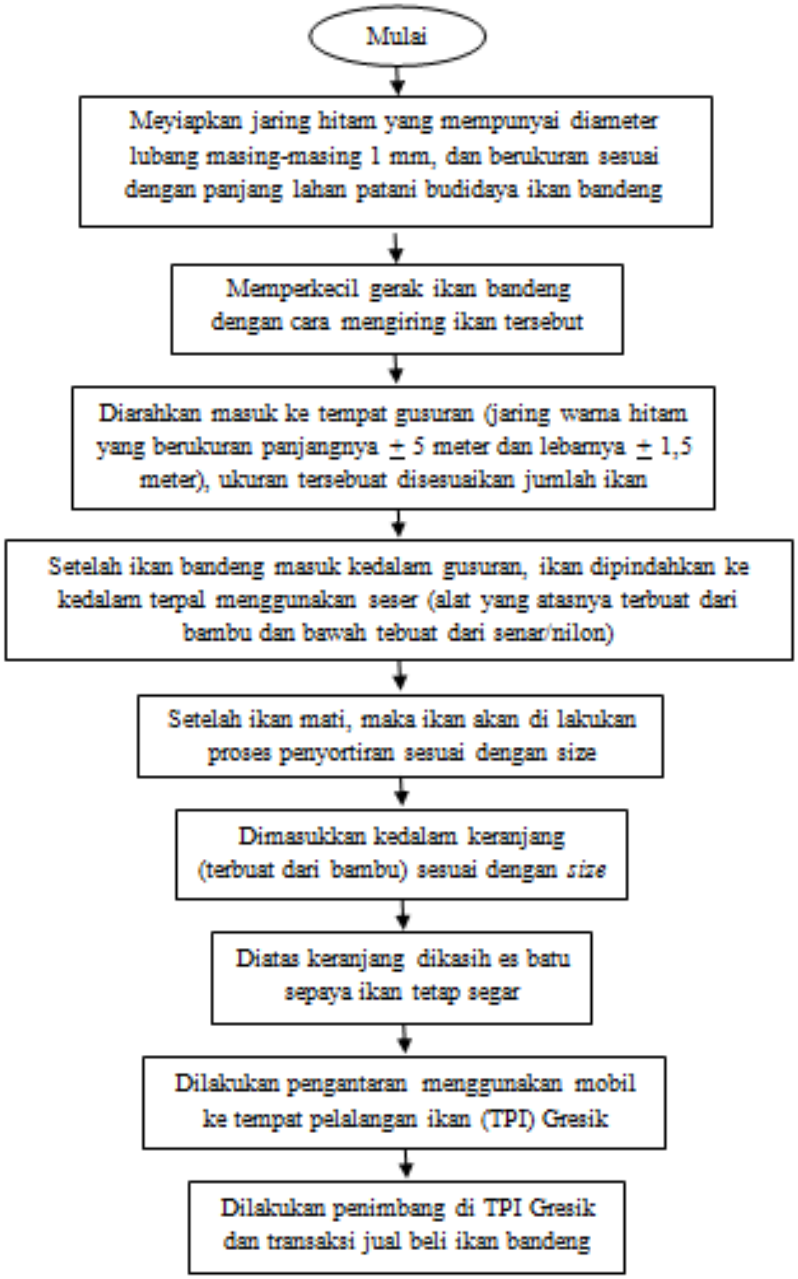
$$= 0{,}04$$

ISBN 978-602-73461-8-5

Karena N' < N (0,04 < 20) maka dapat dikatakan telah mencukupi.

3.2. *Flowchart*

Diagram alir proses penangkapan ikan bandeng sebelum di jual ke Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Gresik.



Gambar 4. *Flowchart* proses penangkapan ikan bandeng

ISBN 978-602-73461-8-5

3.3. *Checksheet*

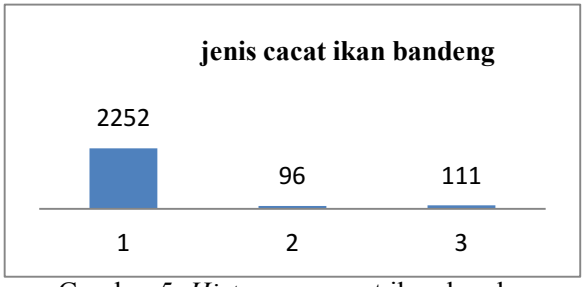
Berdasarkan hasil pengumpulan data pada penelitian, diperoleh data cacat untuk produk ikan bandeng yang dihasilkan oleh *checksheet* atau lembar pengamatan dari:

Tabel 1. Hasil dari lembar pengamatan *(checksheet)*

Bulan	No	Jumlah Bobot Perkeranjang	Isi Persatuan di Keranjang	Jenis Cacat per Ekor			Total Cacat	Total Tidak Cacat	Persentase Cacat
				Sisik Ikan Tidak Lengkap	Warna Mata Ikan Merah	Insang Ikan Warna Putih Pucat			
April	1	60	360	101	4	1	106	254	4,311
	2	65	390	99	6	5	110	280	4,473
	3	60	360	98	6	9	113	247	4,595
	4	70	420	103	3	8	114	306	4,636
	5	75	450	89	6	2	97	353	3,945
Mei	6	60	360	95	1	6	102	258	4,148
	7	60	360	150	2	3	155	205	6,303
	8	65	390	97	4	9	110	280	4,473
	9	70	420	104	8	2	114	306	4,636
	10	70	420	99	7	4	110	310	4,473
Juni	11	75	450	151	4	8	163	287	6,629
	12	60	360	152	3	5	160	200	6,507
	13	65	390	94	2	9	105	285	4,270
	14	60	360	96	6	8	110	250	4,473
	15	60	360	108	4	7	119	241	4,839
Juli	16	70	420	104	4	3	111	309	4,514
	17	60	360	155	9	4	168	192	6,832
	18	65	390	158	4	7	169	221	6,873
	19	75	450	99	6	6	111	339	4,514
	20	75	450	100	7	5	112	338	4,555
Total		1320	7920	2252	96	111	2459	5461	100

3.4. *Histogram*

Dapat dilihat pada histogram mengenai jenis dan jumlah cacat yang dialami pada ikan bandeng yaitu 2252 ekor ikan bandeng mengalami cacat sisik ikan tidak utuh, 111 ekor ikan insang ikan warna putih pucat, 96 ekor ikan cacat warna mata ikan merah.



Gambar 5. *Histogram* cacat ikan bandeng

ISBN 978-602-73461-8-5

3.5. *Control chart*

Berdasarkan data di atas, maka dapat dihitung dengan peta kendali *c* sebagai berikut:

$\bar{c} = \frac{\sum c}{n}$

= 2252/20 = 112,6.

Hasil perhitungan *Upper Control Limit* (UCL)

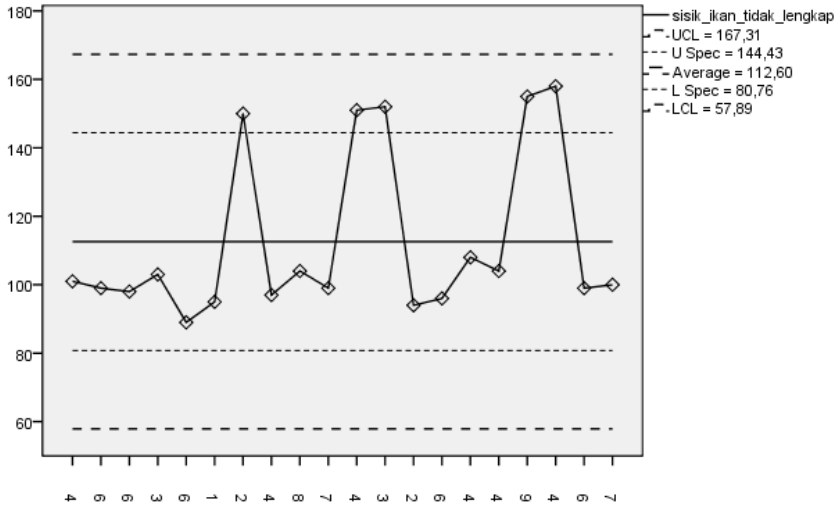
$UCL = \bar{c} + 3\sqrt{c}$

$= 112{,}6 + 3\sqrt{112{,}6} = 144{,}43$

Hasil perhitungan *Lower Control Limit* (LCL)

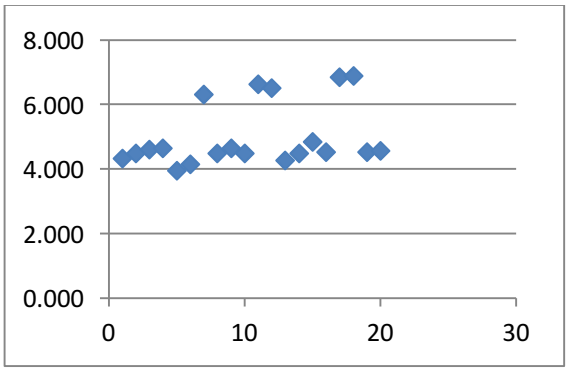
$LCL = \bar{c} - 3\sqrt{c}$

$= 112{,}6 - 3\sqrt{112{,}6} = 80{,}76$



Gambar 6. *Control chart* cacat ikan bandeng

3.6. *Diagram scatter*



Gambar 7. *Diagram scatter* ikan bandeng

Diagram tersebut dapat dilihat jelas bahwa bentuk sebaran masih memiliki korelasi/hubungan pola yang positif, maka dapat diagram tersebut memiliki hubungan.

ISBN 978-602-73461-8-5

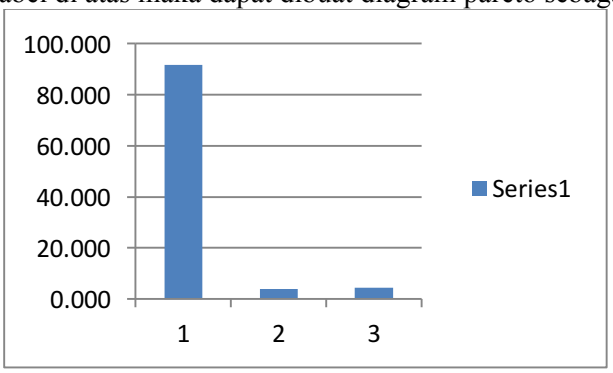
3.7. Diagram pareto

Tabel di bawah ini menjelaskan jumlah cacat ikan bandeng dan nilai persentase komulatif yang akan digunakan untuk pembuatan diagram pareto.

Tabel 2. Perhitungan persentase dan persentase kumulatif

No	Jenis Cacat Ikan Bandeng	Jumlah	Persentase (%)	Persentase Kumulatif
1	Sisik Ikan Tidak Lengkap	2252	91,582	92
2	Warna Mata Ikan Merah	96	3,904	95
3	Insang Ikan Warna Putih Pucat	111	4,514	100
	Total	2459	100	

Berdasarkan tabel di atas maka dapat dibuat diagram pareto sebagai berikut:

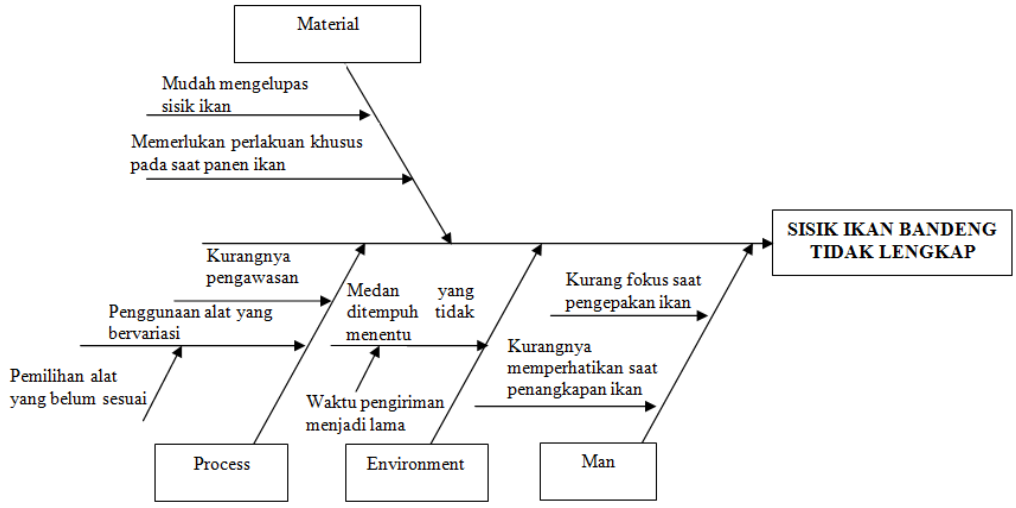


Gambar 8. Jenis kecacatan ikan bandeng dominan

Dapat dilihat cacat dominan adalah sisik ikan tidak lengkap 91,582%, warna mata ikan merah 3,904, insang ikan warna putih pucat.

3.8. *Diagram fishbone*

Hubungan sebab akibat, maka yang dapat diketahui cacat dominan ikan bandeng yaitu sisik ikan tidak utuh dengan menggunakan diagram sebab akibat. Keempat faktor penyebab kacacatan menggunakan *fishbone.*



Gambar 9. Diagram sebab akibat yang paling dominan pada ikan bandeng

ISBN 978-602-73461-8-5

3.9. Perbaikan analisis *Root Cause Analysis* (RCA)

Analisis perbaikan dilakukan pada *key performance indicator* yang masuk kategori cacat yang paling tinggi yaitu sisik ikan tidak utuh karena dapat menyebabkan kecacatan ikan bandeng di Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Gresik, dan dapat dilihat dari hasil diagram fish bone ada empat faktor yang mempengaruhi sisik ikan bandeng tidak utuh. Hasil dari analisis perbaikan dengan menggunakan *Root Cause Analysis* (RCA) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbaikan pada *key performance indicator*

Faktor	Permasalahan	*Key Performance Indicator*	Perbaikan
Material (Produk)	Mudah mengelupas	Perlunya perhatian	Memberikan tempat yang sesuai agar tidak mudah mengelupas
	Memerluakan perlakuan khusus pada ikan bandeng, khususnya pada sisik ikan bandeng	Peningakatan fasilitas untuk ikan bandeng	Memberikan tempat yaitu terpal sebelum ikan mati setelah itu dimasukkan kedalam keranjang yang terbuat oleh bambu
Man (Manusia)	Kurangnya perhatian pada saat penangkapan ikan bandeng	Peningkatan pemahaman untuk penangkapan ikan bandeng	Memberikan pemahaman pada petani budidaya ikan bandeng jika ikan bandeng masih hidup tidak boleh dimasukkan kedalam keranjang yang terbuat dari bambu
	Kurang fokus pada saat pengepakan ikan bandeng	Peningkatan fasilitas	Memberikan fasilitas pada saat penangkapan ikan bandeng berlangsung seperti air minum, makanan kapada orang yang akan melakukan penangkan ikan
Enviroment (Lingkungan)	Medan yang ditempuh tidak menentu (jarak lahan petani budidaya ikan bandeng), menyebabkan waktu pengiriman lama ke tempat pelelangan ikan (TPI) Gresik	Penangkapan ikan dilakukan dipercepat	Datang lebih awal dan penyelesaian dipercapat pada saat penangkapan ikan bandeng berlangsung, sehingga dapat mempecepat kedatangan di tempat pelelangan (TPI) Gresik
Process	Kurangnya pengawasan pada saat perpindahan dari gusuran ke terpal	Peningkatan arahan	Dipertegas lagi ke petani yang akan melakukan penangkapan ikan bandeng untuk penyiapan tempat pemanenan
	Penggunaan alat yang bervariasi, yaitu seser terbuat dari senar dan terbuat dari nilon	Peningkatan pemahaman untuk pemakaian alat	Alat yang digunakan sebaiknya seser yang terbuat dari nilon karena strukturnya lembut dari pada terbuat dari senar yang keras strukturnya

ISBN 978-602-73461-8-5

4. Kesimpulan dan Saran

Dari pengumpulan data di atas dengan metode *seven tools* dan *root cause analysis* , maka peneliti dapat memberikan kesimpulan yaitu pada *checksheet* dapat dilihat terjadi jenis kecacatan ikan bandeng khususnya pada sisik ikan bandeng yang mengalami cacat yang paling tinggi yaitu 2252 ekor ikan bandeng, cacat insang ikan warna putih pucat sebanyak 111 ekor ikan bandeng, cacat warna mata ikan merah sebanyak 96 ekor ikan bandeng. Melihat tabel *root cause analysis* memberikan pemahaman, pengarahan, pengertian dan, metode penangkapan pada petani budidaya ikan bandeng mengenai pentingnya kualitas yang harus melalui proses yang sesuai di Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Lumpur Gresik.

Daftar Pustaka

Heizer, Jay., Render, B, 2006. *Operation Management*. Buku 1 dan 2 Edisi Ketujuh. Jakarta: Salemba Empat.

Jucan, G. 2005. *Root Cause Analysis for IT Incidents Investigation.* Tersedia di Digilib.its.ac.id/public/ITS/ Undergraduate-11025-Paper.pdf.

Koran Kompas: https://regional.kompas.com/read/2018/06/14/10550961/melihat-pasar bandeng-tradisi-jelang-lebaran-di-gresik?page=all.

Varsha M. Magar1, Dr. Vilas B. Shinde, "*Application of 7 Quality Control (7QC) Tools for Continuous Improvement of Manufacturing Processes*", International Journal of Engineering Research and General Science, ISSN 2091-2730, Volume 2, Issue 4, June July, 2014.

ISBN 978-602-73461-8-5

Pengukuran Kepuasan Pelanggan Melalui Integrasi *Importance Performance Analysis* dan Model Kano

Nuraida Wahyuni, Iqbal, Ratna Ekawati, Akbar Gunawan
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jend. Sudirman Km. 3, Cilegon, 42435
Telp. (0254) 395502
Email: nrdwahyuni@gmail.com

Intisari

Kepuasan pelanggan atau pengguna jasa transportasi umum menjadi hal yang dipertimbangkan dalam pengambilan keputusan manajemen untuk perbaikan pelayanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kepuasan pelanggan yang telah merasakan pelayanan PT X sebagai penyedia transportasi penyebrangan dari pulau Jawa ke pulau Sumatera atau sebaliknya. Pengukuran kepuasan pelanggan dalam penelitian ini menggunakan integrasi dari Importance Performance Analysis (IPA) dengan model Kano. Dari IPA akan didapatkan atribut pelayanan mana yang akan masuk dalam kuadran I (prioritas utama perbaikan), kuadran II (pertahankan prestasi), kuadran III (prioritas rendah perbaikan), dan kuadran IV (pelayanan berlebihan). Dari model Kano, atribut pelayanan akan dibagi dalam kategori Must-be (M) atau atribut pelayanan yang harus ada, kategori One dimensional (O) atau atribut pelayanan yang jika terpenuhi, maka kepuasan pelanggan meningkat , dan kategori Attractive (A) atau atribut pelayanan yang dirasa pelanggan sangat memuaskan. Integrasi keduanya akan memperlihatkan prioritas bagi atribut pelayanan yang menjadi kekuatan maupun kelemahan. Sebanyak 100 responden telah mengisi instrumen penelitian yang dirancang menggunakan dimensi Servqual (Responsiveness, Assurance, Tangible, Empathy, Reliability). Hasil penelitian didapat bahwa terdapat sebanyak 4 atribut pelayanan pada kuadran I, sebanyak 9 atribut pelayanan pada Kuadran II, sebanyak 6 atribut pelayanan pada kuadran III, dan sebanyak 5 atribut pelayanan pada kuadran IV. Berdasarkan model Kano, terdapat 3 atribut pelayanan dengan kategori A, 10 atribut pelayanan dengan kategori O, 3 atribut pelayanan dengan kategori M, sisanya diabaikan. Hasil integrasi memperlihatkan urutan prioritas perbaikan adalah atribut 7 (Keamanan barang penumpang), 19 (Kepedulian operator darat dan kru kapal terhadap penumpang), 17 (Keramahan petugas –Salam, Senyum, Sapa), dan 12 (Kelengkapan fasilitas toilet).

Kata kunci: Atribut pelayanan, Kepuasan pelanggan, IPA, Model Kano.

1. Pendahuluan

Di Indonesia sektor jasa beberapa tahun ini berkembang dengan pesat. Hal tersebut diperkuat dengan banyak berdirinya perusahan-perusahan yang bergerak di bidang jasa. Seperti misalnya jasa transportasi, jasa kesehatan, jasa perbankan, jasa pendidikan, jasa pergudangan, jasa pariwisata, dan lain sebagainya. Sampai dengan Februari tahun 2017 Badan Pusat Statistika (BPS) merilis bahwa pertumbuhan ekonomi di Indonesia sepanjang tahun 2016 ditopang oleh sektor jasa yang memberikan kontribusi sebesar 64,7% terhadap pertumbuhan ekonomi Indonesia. Sektor transportasi dan pergudangan memberikan kontribusi sebesar 7,74%. Dalam sektor jasa, pelayanan merupakan aspek utama pergerakan roda perusahaan. Oleh karena itu, kepuasan pelanggan menjadi objek utama yang harus diperhatikan karena pelayanan tersebut dirasakan langsung oleh pelanggan.

ISBN 978-602-73461-8-5

Bagi penyedia jasa swasta, kepuasan pelanggan menjadi perhatian, karena apabila pelanggan merasa kecewa dapat berpindah ke penyedia jasa lain. Begitu pula bagi penyedia jasa yang diselenggarakan oleh pemerintah, walaupun masyarakat tidak mempunyai pilihan pindah ke penyedia jasa lain, kepuasan pelanggan tetap harus diperhatikan untuk meningkatkan pelayanan dan reputasi pemerintah.

Oleh karena itu, kepuasan pelanggan merupakan hal yang sangat penting diperhatikan bagi para pelaku industri jasa. Menurut Kotler (2004), pelanggan merasa puas saat pelayanan yang dirasakan melebihi harapan. Kepuasan pelanggan ini diperlukan bagi manajemen sebagai bahan pertimbangan pengambilan keputusan untuk peningkatan atau perbaikan pelayanan. Studi kasus penelitian ini dilakukan di PT X, yang merupakan salah satu perusahaan penyeberangan antar pulau. PT X perlu mengukur kepuasan pelanggan yang menggunakan layanan kapal penyebrangan untuk membantu manajemen dalam melakukan peningkatan pelayanan.

Beberapa penelitian dalam kepuasan pelanggan telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Salah satunya oleh Wahyuni, Katili, dan Husain (2018) yang meneliti kepuasan pelanggan melalui *Importance Performance Analysis* (IPA) pada perusahaan jasa transportasi. Atribut penelitian didapatkan dari dimensi *Service Quality (Servqual)* yang terdiri dari *Responsiveness*, *Assurance*, *Tangible*, *Emphaty*, dan *Reliability*. Hasil penelitian menyatakan bahwa terdapat sebanyak 4 atribut yang masuk ke dalam kuadran II atau atribut yang menjadi perhatian perbaikan.

Wahyuni dan Ferdinant (2018) melakukan pengukuran kepuasan pelanggan atas pelayanan transportasi online dengan menggunakan model Kano. Dimensi Servqual digunakan sebagai dasar penentuan atribut pelayanan. Hasil penelitian menyatakan atribut-atribut pelayanan tersebut ke dalam kategori Must-be, *One dimensional*, *Attractive*, dan *Indifferent*.

Penelitian lain dilakukan oleh Wu, Tang, dan Shyu (2010) yang ingin mengevaluasi, mengidentifikasi dan menglasifikasikan faktor-faktor yang menjadi kekuatan dan kelemahan dari E-Life Mall dengan mengintegrasikan IPA dengan Model Kano. Hasil penelitian menyatakan bahwa manajemen E-Life Mall harus memperhatikan urutan yang telah dilakukan berdasarkan klasifikasi kekuatan dan kelemahan, contohnya, untuk kekuatan, adalah atribut dengan nilai harapan yang tinggi dan nilai persepsi yang tinggi pula. Urutan untuk kekuatan dimulai dari atribut yang mendapatkan klasifikasi *Attractive* pada hasil model Kano.

Puspitasari (2015) mengintegrasikan IPA dan model Kano untuk menganalisis Cikarang Port Dry dan meningkatkan kepuasan pelanggan. Metode IPA dilakukan untuk mengukur tingkat kepentingan pelanggan dalam kaitannya dengan apa yang harus dikerjakan oleh Cikarang Port Dry, sedangkan model Kano bertujuan untuk mengategorikan atribut-atribut dari produk dan jasa. Atribut pelayanan dalam penelitian ini diuraikan dengan dimensi Servqual. Hasil penelitian menyebutkan atribut- atribut pelayanan yang menjadi prioritas perbaikan pada Cikarang Port Dry.

Dari uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui atribut pelayanan apa saja yang harus ditingkatkan oleh PT X untuk memenuhi kepuasan pelanggan. Metode yang digunakan adalah integrasi IPA dan model Kano. Atribut pelayanan akan diuraikan menggunakan dimensi Servqual.

2. Metode

Penelitian dimulai dengan merancang atribut pelayanan berdasarkan lima dimensi *Servqual*, yaitu *Responsiveness*, *Assurance*, *Tangible*, *Emphaty*, dan *Reliability*. Penjabaran atribut pelayanan dilakukan dengan cara observasi langsung pada kapal penyebrangan milik PT X. Dari perancangan, didapatkan sebanyak 3 atribut dimensi *Responsiveness*, 5 atribut dimensi *Assurance*, 8 atribut dimensi *Tangible*, 4 atribut dimensi

ISBN 978-602-73461-8-5

Emphaty, dan 4 atribut dimensi *Reliability*. Sehingga total atribut penelitian adalah 24 atribut. Kuesioner yang sebarkan ada dua jenis, keduanya adalah kuesioner tertutup. Kuesioner pertama bertujuan untuk mengetahui tingkat kepentingan dan tingkat kepuasan pelanggan terhadap atribut pelayanan PT X. Kuesioner ini menggunakan skala likert 1 sampai 5 pada kolom Kepentingan dan Kepuasan. Skala 1 menunjukkan Tidak Penting atau Tidak Puas, skala 5 menunjukkan Sangat Penting atau Sangat Puas. Kuesioner kedua bertujuan untuk mengetahui kebutuhan pelanggan bila suatu atribut ada atau bekerja baik (*Functional*) dan apabila suatu atribut tidak ada atau tidak bekerja dengan baik (*Disfunctional*). Responden mengisi tingkat preferensi pada setiap atribut pelayanan berdasaarkan *Functional* dan *Disfunctional* memilih Suka, Mengharapkan, Netral, Toleransi, dan Tidak Suka.

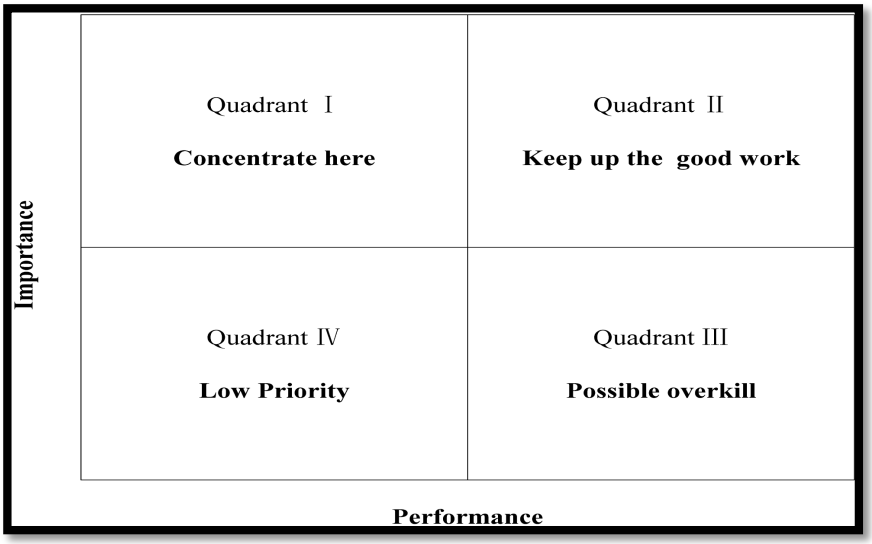
Atribut pelayanan yang telah dijabarkan kemudian diuji validitas dan reliabilitasnya. Untuk mengujinya, kueisoner berisi atribut-atribut pelayanan tersebut disebarkan pada sebanyak 30 responden. Hasil pengujian didapatkan bahwa 24 atribut pelayanan valid dan reliabel. Kemudian penyebaran kuesioner dilanjutkan hingga jumlah responden sebanyak 100 reponden.

Hasil pengumpulan data kuesioner kemudian diolah menggunakan IPA dan model Kano. Pengolahan menggunakan IPA, diawali dengan menghitung skor dari nilai Kepentingan dan Kepuasan. Kemudian skor tersebut digunakan untuk menghitung nilai kesesuaian antar atribut. Nilai kesesuaian didapatkan dengan membagai skor Kepuasan dengan skor Kepentingan. Selanjutnya menghitung rata-rata nilai Kepuasan dan Kepentingan. Lalu memetakan hasil tersebut ke dalam kuadran IPA dengan sumbu x adalah nilai Kepuasan, dan sumbu y adalah nilai Kepentingan. Kuadran IPA dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel evaluasi Kano diperlukan untuk menglasifikasikan atribut pelayanan ke dalam kategori *Must-be, One dimensional*, dan *Attractive*. Kategori Must-be merupakan atribut dasar atau atribut yang harus ada pada suatu pelayanan. Apabila tidak tersedia atribut ini maka pelanggan merasa tidak puas,sebaliknya, apabila pelayanan tersedia, kepuasan tidak meningkat. Kategori One dimensional merupakan atribut yang diharapkan ada oleh pelanggan. Ketersediaan atribut pelayanan ini akan meningkatkan kepuasan pelanggan, namun bila tidak tersedia maka pelanggan akan kecewa. Kategori Attractive adalah atribut kepuasan, artinya apabila atribut tersedia, pelanggan menjadi sangat puas, namun bila tidak tersedia pelanggan tidak merasa kecewa. Tabel evaluasi Kano dapat dilihat pada Tabel 1.

Atribut yang berada pada kuadran IPA kemudian diintegrasikan dengan hasil kategori Kano tiap atribut. Pada kuadran IPA, kuadran II dan kuadran IV merupakan kekuatan, sedangkan kuadran I dan kuadran III merupakan kelemahan. Atribut-atribut yang terdapat pada setiap kuadran diurutkan menurut kategori Kano. Untuk kekuatan, urutannya dimulai dari kategori *Attractive, One dimensional*, dan *Must-be*. Untuk kelemahan, urutannya dimulai dari kategori *Must-be, One dimensional*, dan *Attractive*.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 1. Kuadran IPA (Sumber: Meng, et al., 2015)

Tabel 1. Evaluasi kano

Kebutuhan Konsumen		*Dysfunctional*				
		1	2	3	4	5
		Suka	Mengharapkan	Netral	Toleransi	Tidak Suka
Functional	1 Suka	Q	A	A	A	O
	2 Mengharapkan	R	I	I	I	M
	3 Netral	R	I	I	I	M
	4 Toleransi	R	I	I	I	M
	5 Tidak Suka	R	R	R	R	Q

(Sumber: Tan, 2001)

3. Hasil dan Pembahasan

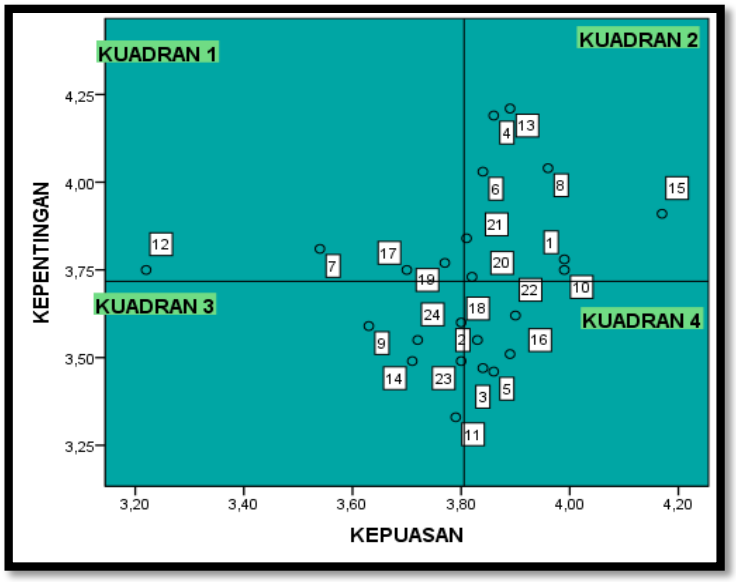
Tabel 2 di bawah merupakan tingkat kesesuaian, yaitu perbandingan antara skor kepuasan dan skor kepentingan. Dapat dilihat di tabel, ada atribut yang tingkat kesesuaiannya kurang dari 100% dan lebih dari 100%. Untuk atribut dengan tingkat kesesuaian kurang dari 100% mempunyai arti pelayanan yang dirasakan oleh responden terhadap PT X masih di bawah harapan. Atribut tersebut berpotensi untuk diperbaiki kualitas pelayanannya. Sedangkan untuk atribut dengan tingkat kesesuaian lebih dari 100% mempunyai arti sebaliknya, bahwa pelayanan yang dirasakan terhadap PT X sesuai atau lebih dari harapan. Atribut tersebut berpotensi untuk dipertahankan kualitas pelayanannya.

Tabel 2. Tingkat kesesuaian

Atribut	Skor Tingkat Kepentingan (X)	Skor Tingkat Kepuasan (Y)	Tingkat Keseseuaian (%)
1	378	399	105,56
2	355	383	107,89

ISBN 978-602-73461-8-5

Atribut	Skor Tingkat Kepentingan (X)	Skor Tingkat Kepuasan (Y)	Tingkat Keseseuaian (%)
3	347	384	110,66
4	419	386	92,12
5	346	386	111,56
6	403	384	95,29
7	381	354	92,91
8	404	396	98,02
9	359	363	101,11
10	375	399	106,40
11	333	379	113,81
12	375	322	85,87
13	421	389	92,40
14	349	371	106,30
15	391	417	106,65
16	351	389	110,83
17	375	370	98,67
18	360	380	105,56
19	377	377	100,00
20	373	382	102,41
21	384	381	99,22
22	362	390	107,73
23	349	380	108,88
24	355	372	104,79



Gambar 2. Kuadran IPA pada PT X

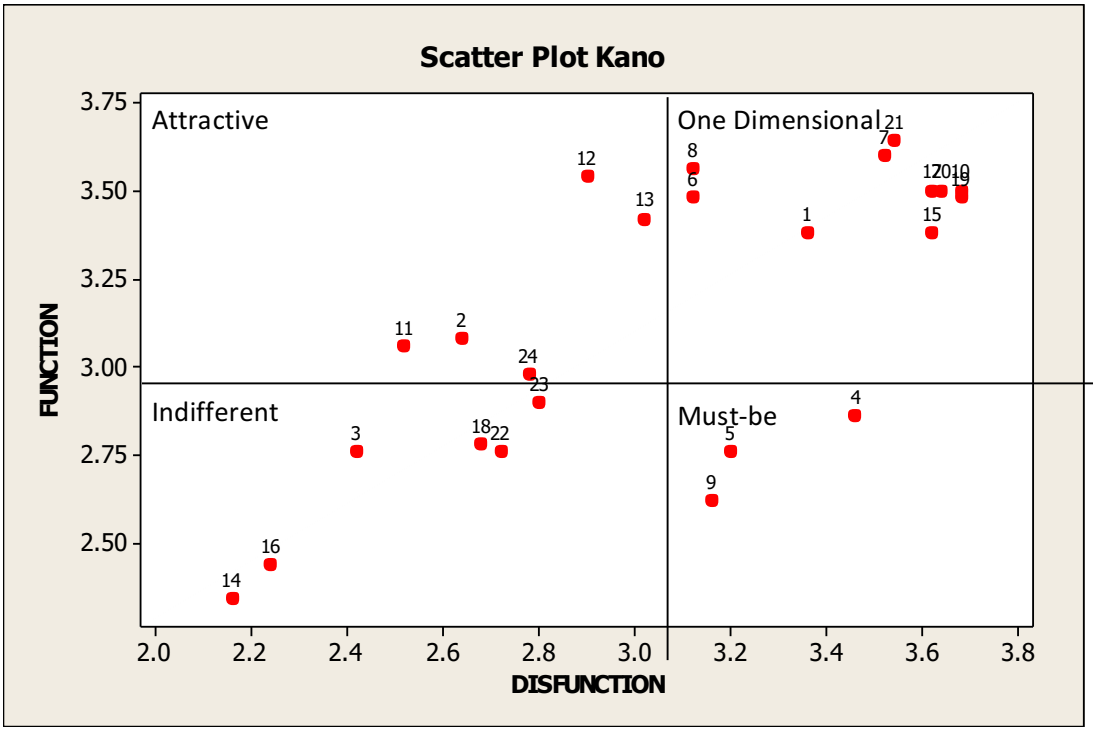
ISBN 978-602-73461-8-5

Gambar 2 di atas merupakan pemetaan atribut-atribut pelayanan PT X ke dalam kuadran IPA. Kuadran I merupakan prioritas utama dalam perbaikan pelayanan. Atribut-atribut yang masuk ke dalam kuadran ini adalah atribut yang dianggap penting oleh pelanggan namun pada kenyataannya belum sesuai dengan harapan. Atribut-atribut yang masuk dalam kuadran ini berpotensi untuk perbaikan pelayanan. Adapun atribut-atribut yang masuk dalam kuadran ini adalah atribut 7 (Keamanan barang penumpang), 12 (Kelengkapan fasilitas toilet), 17 (Keramahan petugas-Salam, Senyum, Sapa), dan 19 (Kepedulian operator darat dan kru kapal terhadap penumpang).

Kuadran II memuat atribut-atribut yang dianggap penting oleh pelanggan, dan atribut-atribut yang dianggap penting oleh pelanggan sudah sesuai dengan yang dirasakannya sehingga tingkat kepuasannya relatif lebih tinggi dan harus dipertahankan oleh pihak perusahaan. Atribut-atribut yang masuk dalam kuadran ini harus tetap dipertahankan karena semua atribut ini menjadikan produk atau jasa unggul di mata pelanggan. Adapun atribut-atribut yang masuk dalam kuadran ini adalah atribut 1, 4, 6, 8, 10, 13, 15, 20, dan 21.

Kuadran III merupakan daerah yang memuat atribut-atribut yang dianggap kurang penting oleh pelanggan, dan pada kenyatannya kinerjanya tidak terlalu istimewa atau belum memuaskan. Peningkatan atribut-atribut yang termasuk dalam kuadran ini dapat dipertimbangkan kembali karena pengaruhnya terhadap manfaat yang dirasakan oleh pelanggan sangat kecil. Adapun atribut-atribut yang masuk dalam kuadran ini adalah atribut 9, 11, 14, 18, 23, dan 24.

Kuadran IV memuat atribut-atribut yang dianggap kurang penting oleh pelanggan, namun pihak perusahaan dirasakan dalam memberika pelayanan sudah sangat baik sehingga pelanggan merasa puas dan kuadran ini masuk dalam kategori berlebihan. Adapun atribut-atribut yang masuk dalam kuadran ini adalah atribut 2, 3, 5, 16, dan 22.



Gambar 3. Model Kano PT X

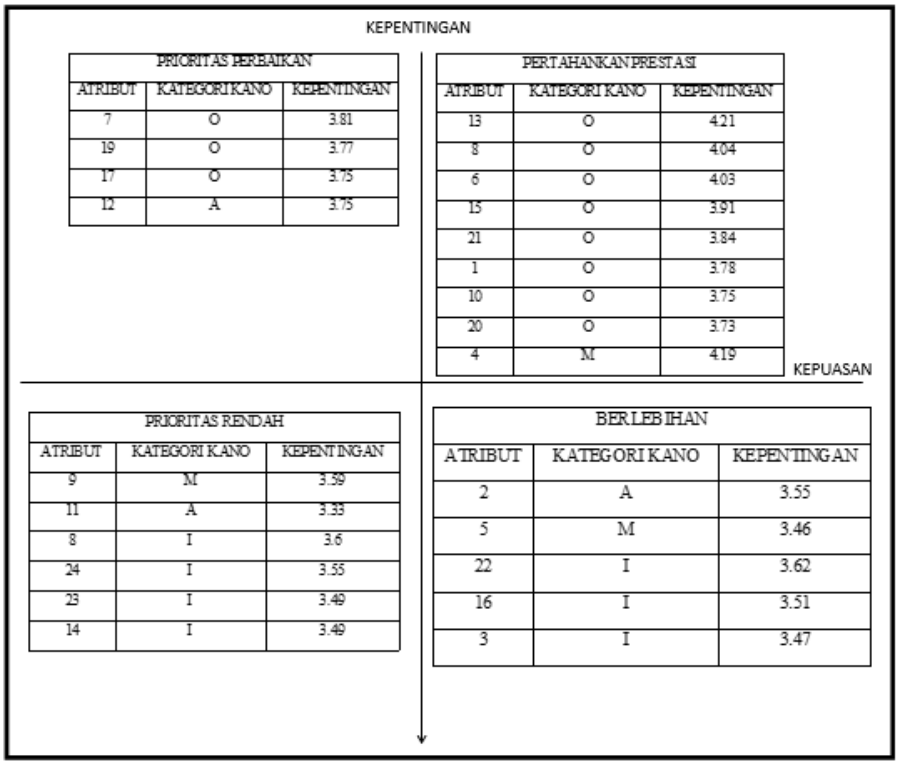
ISBN 978-602-73461-8-5

Gambar 3 merupakan scatter plot dari atribut pelayanan PT X dengan model Kano. Terdapat 3 atribut yang masuk dalam kategori *Attractive*. dimana tingkat kepuasan pelanggan akan meningkat sangat tinggi seiring dengan meningkatnya kinerja atribut, tetapi penurunan kinerja atribut tidak akan menyebabkan penurunan tingkat kepuasan pelanggan.

Terdapat 10 atribut yang termasuk dalam kategori *One dimensional* dimana tingkat kepuasan pelanggan berhubungan linier dengan kinerja atribut, sehingga kinerja atribut yang tinggi akan mengakibatkan tingkat kepuasan pelanggan yang tinggi pula.

Terdapat sebanayak 3 atribut yang masuk ke dalam kategori *Must-be*, dimana pelanggan tidak merasa puas apabila kinerja atribut rendah, tetapi kepuasan pelanggan tidak akan meningkat jauh di atas netral meskipun kinerja atribut tersebut sangat tinggi. Atribut yang tidak termasuk ke dalam model Kano merupakan atribut yang dianggap diabaikan atau termasuk kategori *Indifferent*, karena ada atau tidaknya atribut tersebut dianggap tidak mempengaruhi kepuasan pelanggan.

Gambar 4 merupakan diagram integrasi IPA dan model Kano. Dalam diagram tersebut terdapat atribut-atribut yang menjadi kekuatan dan kelemahan pelayanan PT X. Atribut-atribut yang tergolong sebagai kekuatan terdapat pada Kuadran II dan IV sedangkan atribut-atribut yang tergolong sebagai kelemahan terdapat pada Kuadran I dan III. Urutan atribut didapatkan berdasarkan kategori Kano dengan urutan *Attractive*, *One dimensional*, dan *Must-be* untuk kekuatan. Sedangkan urutan *Must-be*, *One dimensional*, dan *Attractive* merupakan urutan untuk kelemahan. Jika terdapat kategori yang sama, diurutkan kembali berdasarkan tingkat kepentingannya. Kategori *indifferent* merupakan atribut yang diabaikan sehingga urutannya tidak diperhitungkan.



PRIORITAS PERBAIKAN

ATRIBUT	KATEGORI KANO	KEPENTINGAN
7	O	3.81
19	O	3.77
17	O	3.75
12	A	3.75

PERTAHANKAN PRESTASI

ATRIBUT	KATEGORI KANO	KEPENTINGAN
13	O	4.21
8	O	4.04
6	O	4.03
15	O	3.91
21	O	3.84
1	O	3.78
10	O	3.75
20	O	3.73
4	M	4.19

PRIORITAS RENDAH

ATRIBUT	KATEGORI KANO	KEPENTINGAN
9	M	3.59
11	A	3.33
8	I	3.6
24	I	3.55
23	I	3.49
14	I	3.49

BERLEBIHAN

ATRIBUT	KATEGORI KANO	KEPENTINGAN
2	A	3.55
5	M	3.46
22	I	3.62
16	I	3.51
3	I	3.47

Gambar 4. Diagram Integrasi IPA dan Model Kano

ISBN 978-602-73461-8-5

4. Kesimpulan

Dari pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa dari 24 atribut yang telah diuraikan dari dimensi Servqual, berdasarkan IPA, terdapat 4 atribut yang menjadi prioritas utama perbaikan. Berdasarkan model Kano, keempat atribut itu masin-masing masuk ke dalam kategori *One dimensional* dan *Attractive*. Integrasi IPA dan model Kano menghasilkan urutan perbaikan yang harus diperhatikan, yaitu: atribut 7 (Keamanan barang penumpang), 19 (Kepedulian operator darat dan kru kapal terhadap penumpang), 17 (Keramahan petugas –Salam, Senyum, Sapa), dan 12 (Kelengkapan fasilitas toilet).

Daftar Pustaka

Anonim, 2017, akses online 14 Maret 2018, *URL: http://www.bps.go.id/*

Kotler, P., 2004, *Manajemen Pemasaran: Analisis, Perencanaan, Implementasi dan Kontrol,* Edisi Keenam, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Meng, Q., 2015, A Decision-Making Method for Improving Logistics Services Quality by Integrating Fuzzy Kano Model with Importance, *Journal of Service Science and Management*, Vol 8 322-331.

Puspitasari, R., 2015, Analisis Kualitas Pelayanan Cikarang Dry Port Dengan Metode Importance - Performance Analysis Dan Kano, Jurnal Transportasi Antarmoda, Vol 13, No.3.

Tan, K.C., 2001, Integrating Servqual and Kano's Model into QFD for Service Excellence Development, *Managing Service Quality* 11 no. 6, pp: 418-430.

Tjiptono, F. dan Chandra, G., 2004, *Service Quality & Satisfaction*. Edisi kedua, CV Andi Offset, Yogyakarta.

Wahyuni, N., Ferdinant, ., 2018, Model Kano terhadap Pelayanan Transportasi Online, Prosiding Online Seminar Nasional Teknologi 2018, E-ISSN 2615-1553, hal 710-714.

Wahyuni, N., Katili, P. B., Husain, B., 2018, Importance Performance Analysis Pada Jasa Transportasi Studi Kasus PT. X, *Prosiding IENACO 2018*, ISSN 2337-4349, hal 346-351.

Wu, Hsin-Hung., Tang, Yung-Tai., Shyu, Jyh-Wei. (2010). An Integrated Approach Of Kano's Model And Importance-Performance Analysis In Identifying Key Success Factors. *African Journal of Business Management*. Vol. 4 (15), pp. 3238-3250, African.

ISBN 978-602-73461-8-5

Identifikasi Faktor yang Mempengaruhi Produktivitas Pabrik CPO

Nurhayati Sembiring, M. Imam Ramzani
Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155
Email : nurhayatipandia68@usu.ac.id
Email : imamramzani@gmail.com

Intisari

PT. XYZ bergerak dalam bidang pengolahan Tandan Buah Sawit (TBS) menjadi minyak kelapa sawit. PT. XYZ memiliki target dalam pencapaian produksi CPO. Hal ini dibuktikan dengan adanya perencanaan produksi dengan hasil produksi yang terealisasi setiap tahunnya. Berdasarkan pada data perusahaan, terdapat aspek rendemen yang tidak memenuhi target, sehingga diperlukan sebuah upaya untuk meningkatkan produktivitas pabrik. Hal ini dapat dilakukan melalui identifikasi faktor produktivitas pada perusahaan tersebut. Pada penelitian ini, digunakan metode Analytical Network Process (ANP) untuk melakukan penentuan ranking terhadap faktor-faktor yang ada. Berdasarkan hasil perhitungan, terdapat 3 kriteria dalam mengidentifikasi faktor produktivitas pada pabrik pengolahan kelapa sawit, yaitu: kualitas buah sawit, mesin pengolah buah sawit dan skill tenaga kerja. Kemudian dilakukan perhitungan ranking subkriteria, Kriteria yang paling mengidentifikasi faktor produktivitas pada pabrik pengolahan kelapa sawit ini adalah kriteria kualitas TBS (0,5032), disusul oleh kriteria skill tenaga kerja (0,2508), dan kriteria mesin pengolahan (0,2403). Subkriteria yang paling dominan berdasarkan perhitungan metode ANP, subkriteria adalah subkriteria Kualitas Matang Buah (0,1460), disusul oleh subkriteria Jam Kerja Karyawan (0,14335), Pengalaman Kerja (0,13636), Pengangkutan (0,13605), Teknologi Panen, (0,11783), Jam Jalan Mesin (0,11121), Kebun Asal Buah (0,09077), Jenis Teknologi (0,07132), dan Pendidikan/Training (0,05251)

Kata kunci: Produktivitas, Analytical Network Process, Kelapa Sawit

1. Pendahuluan

Salah satu faktor daya saing perusahaan adalah produktivitas, dan setiap perusahaan mengharapkan perusahaannya memiliki produktivitas yang tinggi. Namun, kenyataan di lapangan performansi belum tentu sesuai dengan harapan perusahaan. Salah satu faktor yang mempengaruhi produktivitas perusahaan adalah pemanfaatan sumber daya produksi. Pemanfaatan sumber daya ini haruslah optimal untuk menunjang peningkatan produktivitas perusahaan. Karena produktivitas suatu perusahaan merupakan unsur yang sangat penting untuk melihat efisiensi perusahaan, terutama dalam hal penggunaan sumber-sumber daya yang ada untuk menghasilkan produk perusahaan.

PT. XYZ adalah perusahaan yang bergerak di bidang pengolahan kelapa sawit dan kernel (inti sawit) dengan jenis produk CPO. Perusahaan bergerak dalam bidang pengolahan Tandan Buah Sawit (TBS) menjadi minyak kelapa sawit (Pahan,2006). PT. XYZ memiliki target dalam pencapaian produksi CPO (Alatas,2015). Hal ini dibuktikan dengan adanya perencanaan produksi dengan hasil produksi yang terealisasi setiap tahunnya.

Berdasarkan data perusahaan, ternyata nilai rendemen aktual tidak dapat memenuhi target sehingga diperlukan sebuah upaya untuk meningkatkan produktivitas pabrik

ISBN 978-602-73461-8-5

tersebut. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode *Analytical Network Process* (ANP) untuk membangun struktur jaringan dan mengidentifikasikan kriteria yang paling berpengaruh dalam produktivitas pabrik CPO (Harini, 2016).

Seluruh tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini, secara umum dapat diaplikasikan pada industri yang memiliki input (material, sumber daya, mesin, peralatan, energi dll), proses pengolahan, dan menghasilkan output berupa produk.

Pada Tabel 1 dapat dilihat perbandingan nilai rendemen aktual dan target yang diharapkan oleh perusahaan. Ternyata nilai rendemen aktual masih di bawah nilai target yang diharapkan, sehingga perlu dilakukan upaya perbaikan.

Tabel 1. Produktivitas pabrik PT. XYZ tahun 2017

Bulan	TBS (kg)	Minyak Sawit (kg)	Aktual (%)	Target (%)
Januari	1,492,614	313,449	21	23,5
Februari	2,174,156	460,921	21,2	23,5
Maret	1,886,891	415,116	22	23,5
April	2,365,746	463,213	19,58	23,5

2. Metode

Jenis penelitian yang dilakukan ialah penelitian deskriptif (Sinulingga, 2013) yaitu suatu jenis penelitian yang bertujuan untuk mendeskripsikan secara sistematik, faktual, dan akurat tentang fakta-fakta dan sifat-sifat suatu objek atau populasi tertentu.

2.1. Variabel penelitian

Variabel-variabel yang terdapat dalam penelitian ialah sebagai berikut:

1. Variabel dependen
   Variabel dependen ialah yang nilainya dipengaruhi atau ditentukan oleh nilai variabel lain. Variabel dependen pada penelitian ini ialah produktivitas pabrik.
2. Variabel independen
   Variabel independen ialah variabel yang mempengaruhi variabel dependen baik secara positif maupun negatif. Variabel-variabel independen pada penelitian ini ialah sebagai berikut (Hidayati, 2014):
   a. Kualitas TBS
   b. Mesin Pengolahan
   c. Skill Tenaga Kerja

2.2. Alat dan bahan

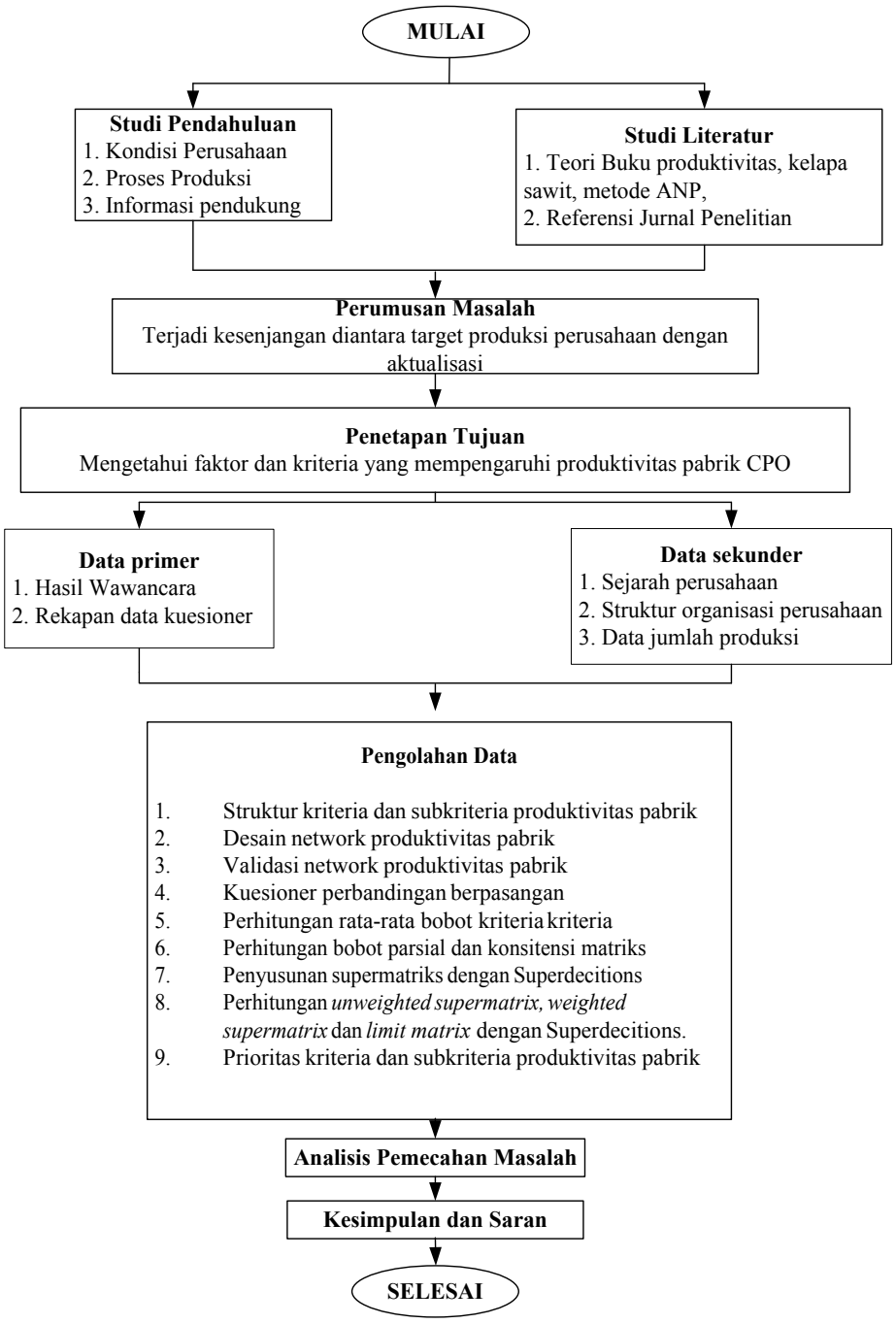
Alat dan bahan yang terdapat dalam penelitian ialah sebagai berikut:

1. Lembar Pengamatan
2. Lembar Kuesioner
3. Alat Tulis dan Cetak
4. *Software Super Decisions*

2.3. Blok diagram prosedur penelitian

Prosedur penelitian ditampilkan dalam blok diagram pada Gambar 1.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 1. Blok diagram prosedur penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengumpulan data

Terdapat 3 kriteria faktor produktivitas yang digunakan yaitu, kualitas TBS, mesin pengolahan dan s*kill* tenaga kerja. Pada Tabel 2 dapat dilihat subkriteria yang digunakan.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 2. Kriteria dan subkriteria

No.	Kriteria	Subkriteria
1.	Kualitas TBS	Kebun Asal Buah
		Pengangkutan
		Teknologi Panen
		Kualitas Matang Buah
2.	Mesin Pengolahan	Jenis Teknologi
		Jam Jalan Mesin
		Pendidikan/Training
3.	Skill Tenaga Kerja	Jam Kerja Karyawan
		Pengalaman Kerja

Penentuan hubungan pengaruh antara subkriteria ini dilakukan dengan cara wawancara dengan manager produksi. Instrumen yang digunakan yakni berupa kuesioner tertutup. Responden tersebut harus menentukan apakah subkriteria pada bagian kiri memiliki pengaruh terhadap subkriteria bagian atas yang dibandingkan.

Tabel 3. Contoh hubungan antara subkriteria

		Kualitas TBS				Mesin Pengolahan		Skill Tenaga Kerja		
		K1	K2	K3	K4	M1	M2	S1	S2	S3
Kualitas TBS (K)	K1		V	V	V					
	K2	V		V	V	V	V			
	K3	V	V		V	V	V			
	K4	V	V	V						
Mesin Pengolahan (M)	M1		V	V			V	V		V
	M2					V		V		V
Skill Tenaga Kerja (S)	S1		V	V		V	V		V	V
	S2							V		V
	S3							V	V	

Pembuatan kuesioner perbandingan berpasangan digunakan untuk memberi bobot untuk masing-masing kriteria dan sub kriteria sehingga dapat diketahui perspektif yang memiliki bobot kriteria tertinggi (Aam,2013). Kuesioner ini memiliki 2 bagian yakni perbandingan berpasangan antara kriteria dan perbandingan berpasangan antara sub kriteria. Contoh kuesioner perbandingan berpasangan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan berpasangan antara kriteria

Kriteria																	Kriteria
Kualitas TBS	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mesin Pengolahan

ISBN 978-602-73461-8-5

Kriteria																		Kriteria
Kualitas TBS	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Skill Tenaga Kerja
Mesin Pengolahan	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Skill Tenaga Kerja

Keterangan:
Perbandingan berpasangan antara kriteria memiliki intensitas kepentingan bernilai 1 apabila kedua elemen sama penting. Bernilai 3 apabila elemen yang satu sedikit lebih penting ketimbang lainnya. Bernilai 5 apabila elemen yang satu essensial atau sangat penting ketimbang elemen lainnya. Bernilai 7 berarti satu elemen jelas lebih penting dari elemen lain. Bernilai 9 apabila satu elemen mutlak lebih penting ketimbang elemen lainnya. Bernilai 2,4,6,8 apabila nilai antara dua pertimbangan berdekatan.

3.2. Pengolahan data

Cara perhitungan *Consistency Ratio* untuk matriks banding berpasangan kriteria kualitas TBS ditampilkan sebagai berikut:

1. Menghitung rata-rata pembobotan dengan cara menghitung rata-rata geometrik. Rata-rata geometrik (GM) dihitung dengan rumus:

   GM $=\sqrt[n]{X_1.X_2\ldots Xn}$……(1)

   GM $=\sqrt[5]{6x6x4x0{,}2x4} = 2{,}5840$

   Keterangan

   GM : Rata-rata Geometrik

   X : Bobot

   Perhitungan rata-rata geometrik untuk matriks perbandingan berpasangan ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rata-rata geometrik matriks perbandingan berpasangan

	Kualitas TBS	Mesin Pengolahan	Skill Tenaga Kerja
Kualitas TBS	1,0000	1,6735	2,5840
Mesin Pengolahan	0,5976	1,0000	0,7677
Skill Tenaga Kerja	0,3870	1,3026	1,0000
Jumlah	1,9846	3,9761	4,3517

2. Masing-masing elemen kolom dibagi dengan jumlah kolom masing-masing. Perhitungan matriks normalisasi dan bobot parsial kluster kualitas TBS:

$$\text{Normalisasi} = \frac{\text{Nilai Bobot}}{\text{Total Bobot}} = \frac{2{,}5840}{4{,}3517} = 0{,}5938$$

$$\text{Bobot Parsial} = \frac{00{,}5039+0{,}4209+0{,}5938}{3} = 0{,}5062$$

Contoh perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 6. Matriks normalisasi kluster kualitas TBS

	Kualitas TBS	Mesin Pengolahan	Skill Tenaga Kerja	Bobot
Kualitas TBS	0,5039	0,4209	0,5938	0,5062
Mesin Pengolahan	0,3011	0,2515	0,1764	0,2430
Skill Tenaga Kerja	0,1950	0,3276	0,2298	0,2508
Jumlah	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

3. Menghitung rasio konsistensi
   Perhitungan rasio konsistensinya adalah sebagai berikut:

1,0000	1,6735	2,5840	1,0000		0,5062		1,560929
0,5976	1,0000	0,7677	0,5976	x	0,2430	=	0,738028
0,3870	1,3026	1,0000	0,3870		0,2508		0,763236

   Keterangan:
   Berdasarkan Tabel 5, angka yang tertera pada baris pertama menunjukkan nilai rata-rata geometrik perbandingan berpasangan kualitas buah. Baris kedua menunjukkan nilai rata-rata geometrik perbandingan berpasangan mesin pengolahan. Baris ketiga menunjukkan nilai rata-rata geometrik perbandingan berpasangan skill tenaga kerja. Kemudian nilai tersebut dikalikan dengan bobot yang tercantum pada Tabel 6.

4. Menghitung konsistensi rasio
   Konsistensi rasio (Abu Hajar,2016) dihitung dengan membagi nilai konsistensi dengan nilai eigen vektor.
   1,560929 : 0,5062 = 3,0837
   0,738029 : 0,2430 = 3,0371
   0,763236 : 0,2508 = 3,0432

5. Menghitung rata-rata entri (γ_{maks})
   $\gamma_{maks} = \frac{X1+X2+X3}{n}$……...……(2)
   $\gamma_{maks} = \frac{3{,}0837 + 3{,}0371 + 3{,}0432}{3} = 3{,}0546$

6. Menghitung *Consistency Index* (CI)
   $CI = \frac{\gamma maks - n}{n-1}$…….. (3)
   $CI = \frac{3{,}0546 - 3}{3-1} = 0{,}0273$
   dengan *Random Index* (RI) dengan n = 3 adalah 0,58 (diperoleh dari tabel *Random Index*), maka *Consistency Ratio* (CR):
   $CR = \frac{CI}{Random\ Consistency\ Index}$…….(4)
   $CR = \frac{0{,}0273}{0{,}58} = 0{,}0471$

ISBN 978-602-73461-8-5

Karena CR < 0,1 maka jawaban responden konsisten. Perhitungan yang sama dilakukan pada semua elemen antara kriteria dan subkriteria. Supermatriks merupakan hasil vektor prioritas dari perbandingan antar kluster dan subkriteria (Saaty, 2008). Supermatriks terdiri atas tiga tahap yaitu Supermatriks Tidak Terbobot (*Unweighted Supermatrix*), Supermatriks Terbobot (*Weighted Supermatrix*), dan Supermatriks Limit (*Limiting Supermatrix*). Untuk memperoleh ketiga supermatriks ini digunakan bantuan *Software Super Decisions* versi 2.6 untuk memudahkan proses pengolahan. *Unweighted Supermatrix* merupakan terjemahan dari bobot masing-masing kluster dan subkriteria yang diinput ke dalam sebuah tabel matriks kompleks. *Unweighted Supermatrix* dapat dilihat pada lampiran.

Tahap selanjutnya, yaitu membuat *Weighted Supermatrix* yang diperoleh dengan mengalikan semua elemen pada *unweighted supermatrix* dengan nilai yang terdapat dalam matriks kluster sehingga nilai setiap kolom berjumlah satu. *Weighted Supermatrix* dapat dilihat pada lampiran. *Weighted Supermatrix* yang telah diperoleh selanjutnya dikalikan dengan dirinya sendiri dalam beberapa iterasi. Iterasi ini bertujuan agar bobot supermatriks stabil, artinya nilai baris setiap elemen menjadi sama. Ketika bobot pada setiap kolom memiliki nilai yang sama, maka *Limiting Supermatrix* telah didapatkan tampak seperti pada lampiran. Berdasarkan hasil pengolahan dengan metode *Analytic Network Process* di atas maka diperoleh bobot untuk setiap subkriteria yang dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Bobot global subkriteria

No.	Kriteria	Notasi	Subkriteria	Bobot
1.	Kualitas TBS (K)	K1	Kebun Asal Buah	0,09077
		K2	Pengangkutan	0,13605
		K3	Teknologi Panen	0,11783
		K4	Kualitas Matang Buah	0,14600
2.	Mesin Pengolahan (M)	M1	Jenis Teknologi	0,07132
		M2	Jam Jalan Mesin	0,11121
3.	Skill Tenaga Kerja (S)	S1	Pendidikan/Training	0,0521
		S2	Jam Kerja Karyawan	0,14335
		S3	Pengalaman Kerja	0,13636

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan ialah sebagai berikut:

1. Terdapat 3 perspektif dalam mengidentifikasi faktor produktivitas pada pabrik pengolahan kelapa sawit, yaitu: kualitas buah sawit, mesin pengolah buah sawit dan skill tenaga kerja.
2. Kriteria yang paling mengidentifikasi faktor produktivitas pada pabrik pengolahan kelapa sawit dengan metode ANP adalah kriteria kualitas TBS (0,5032), disusul oleh kriteria skill tenaga kerja (0,2508), dan kriteria mesin pengolahan (0,2403). Subkriteria yang paling dominan berdasarkan perhitungan metode ANP, subkriteria adalah subkriteria Kualitas Matang Buah (0,1460), disusul oleh subkriteria Jam Kerja Karyawan (0,14335), Pengalaman Kerja (0,13636), Pengangkutan (0,13605), Teknologi Panen, (0,11783), Jam Jalan Mesin (0,11121), Kebun Asal Buah (0,09077), Jenis Teknologi (0,07132), dan Pendidikan/Training (0,05251).

ISBN 978-602-73461-8-5

Daftar Pustaka

Aam Slamet Rusydiana & Abrista Devi., 2013. *Analytic Network Process: Pengantar Teori dan Aplikasi*. (Bogor : SMART Publishing).

Abu Hajar, Dr. Yousef., 2016. Using Analytical Hierarchy Process (AHP) to Build Suppliers' Selection Model. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences.*

Alatas, Andi. 2015., Trend Produksi dan Ekspor Minyak Sawit (CPO) Indonesia. *Jurnal AGRARIS.*

Gupta, Singh & Garg., 2015. Analytic Network Process (ANP): An Approach for Supplier Selection in an Automobile Organization. *European Journal of Advances in Engineering and Technology.*

Harini dkk., 2016. *Analisis Faktor Penentu Daya Saing Komoditas Pangan di Provinsi Jawa Tengah*. JIEP.

Hidayati Juliza., 2014. *Rancang Bangun Model Untuk Revitalisasi Perkebunan Kelapa Sawit Untuk Memperkuat Agroindustry CPO Di Provinsi Sumatera Utara*. Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Ismiasih. 2017*.,* Technical Effeciency of Palm Oil Production in West Kalimantan. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian, INSTIPER Yogyakarta.*

Javant, Paul & Kumar., 2015. *Application of Analytic Network Process (ANP) in Business Environment: A Comprehensive Literature Review*. International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology.

Pahan, Iyung. 2006. *Panduan Lengkap Kelapa Sawit, Manajemen Agribisnis dari Hulu Hingga Hilir*. Penebar Swadaya, Jakarta

Saaty, Thomas L., 2008. *The Analytic Hierarchy and Analytic Network Measurement Processes: Applications to Decisions under Risk*. European Journal Of Pure and Applied Mathematics.

Sinulingga, Sukaria., 2014. *Rekayasa Produktivitas*. USU Pres, Medan.

Sinulingga, Sukaria., 2013. *Metodologi Penelitian*. USU Press, Medan.

ISBN 978-602-73461-8-5

Upaya Peningkatan Kualitas Produk Hollow Core Slab Menggunakan Metode Six Sigma di PT. Beton Elemenindo Perkasa

Prasetyo Utomo, Dyah Ika Rinawati, Diana Puspita Sari
Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
Telp. +62247460052
Email: prasetyoutomo214@gmail.com

Intisari

Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi cacat pada produk Hollow Core Slab (HCS) pada departemen produksi PT Beton Elemenindo Perkasa. Produk HCS yang cacat dibagi menjadi dua tipe, yaitu cacat yang dapat di rework dan cacat yang harus dibuang. Rework pada departemen produksi menyebabkan tingginya biaya yang harus dikeluarkan oleh pihak manajemen perusahaan sehingga dapat mengurangi keuntungan dari perusahaan. Selain itu, rework menyebabkan pemborosan waktu dan tenaga. Penelitian ini menggunakan metode Six Sigma dengan tahap DMAIC. Dalam hal ini, Six Sigma digunakan untuk menganalisis penyebab cacat pada departemen produksi sehingga dapat dibuat usulan perbaikan untuk mengurangi cacat tersebut. Data pada penelitian ini diperoleh dari hasil wawancara dengan karyawan terkait serta pengamatan langsung di departemen produksi dan data historis perusahaan dari bulan November 2017 hingga Desember 2017. Dari Pengolahan data dengan metode Six Sigma, terdapat 7 jenis cacat yang menyebabkan rework dan dibutuhkan waktu 9 bulan untuk mengurangi cacat tersebut untuk mencapai target perusahaan sebesar 1,5% cacat dari total produksi produk HCS.

Kata kunci: kualitas,six sigma, DMAIC, hollow core slab

1. Pendahuluan

Saat ini, kondisi perusahaan-perusahaan di Indonesia dihadapkan pada persaingan yang sangat ketat. Hal ini dikarenakan banyaknya perusahaan-perusahaan baru bermunculan terutama di bidang manufaktur. Persaingan tidak hanya berlaku antar perusahaan lokal saja, tetapi sudah berlangsung secara global. Hal ini sejalan dengan mulai diberlakukannya pasar bebas yang diawali dengan pasar bebas antar negara ASEAN melalui *Asean Free Trade Area* (AFTA), Keadaan ini mengakibatkan masuknya barang-barang dari luar negeri dengan bebas.

Kondisi dengan persaingan yang ketat baik di pasar lokal ataupun internasional menuntut produsen diharuskan membuat produk yang berkualitas baik karena pada dasarnya konsumen menginginkan produk yang berkualitas baik. Hal itu dilakukan agar produk bisa diterima oleh konsumen dan juga untuk mempertahankan kelangsungan hidup perusahaan. Kegiatan pengendalian kualitas dalam perusahaan dianggap perlu karena kegiatan ini berfungsi untuk menjaga bahan baku dan mengawasi proses produksi serta produk jadi sesuai dengan standar kualitas yang sudah ditetapkan oleh perusahaan. Kegiatan pengendalian kualitas juga berufngsi untuk mengurangi tingkat kecacatan produk serta meningkatkan kualitas produk.

ISBN 978-602-73461-8-5

PT Beton Elemenindo Perkasa merupakan salah satu perusahaan manufaktur yang bergerak dalam pembuatan beton bangunan secara modern. PT Beton Elemenindo telah berdiri sejak tahun 1990 dan terletak di Bandung. Perusahaan ini memproduksi berbagai beton bangunan seperti Hollow Core Slab (HCS), Hollow Core Wall (HCW), Façade, dan lain-lain. Namun, dalam proses produksinya, masih banyak kendala yang ditemukan seperti cacat pada produk. Tingginya angka cacat menyebabkan *rework* yang tinggi sehingga menimbulkan pemborosan dari segi biaya dan waktu. Selain itu, dapat menyebabkan produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan spesifikasi dari *customer* dan akan sangat berbahaya apabila digunakan untuk bangunan.

PT Beton Elemenindo Perkasa memiliki suatu kebijakan bahwa produk yang diproduksi akan diperiksa kembali dibagian *Quality Control* (QC) dan digolongkan ke dalam tiga kriteria, yaitu: OK, *Not Good* (NG), dan Afkir (*Reject*). Barang yang tergolong OK akan dikirim langsung ke customer atau proyek yang sedang dilakukan oleh perusahaan. Untuk produk yang tergolong NG akan dikembalikan ke bagian produksi untuk dilakukan *rework*, sedangkan untuk produk yang tergolong Afkir akan langsung dibuang ke tempat pembuangan produk Afkir. Aktivitas *rework* dan pembuangan produk yang sia-sia karena Afkir merupakan suatu bentuk pemborosan. Untuk meminimasi hal tersebut maka dapat dilakukan pengoptimalan dalam hal pengendalian kualitas oleh perusahaan.

Berdasarkan data laporan produksi produk HCS bulan November-Desember 2017, diketahui bahwa jumlah produk HCS *repair* nilainya cukup tinggi. Nilai ini perlu direduksi karena semakin banyak produk *defect* yang dihasilkan, maka semakin banyak pula kerugian yang harus ditanggung perusahaan untuk melakukan aktivitas perbaikan terhadap produk HCS jenis *repair* maupun atas material yang terbuang percuma akibat produk yang mengalami proses pembuangan.

Dalam penelitian ini akan dijelaskan rencana penerapan Six Sigma pada produk HCS yang dihasilkan oleh PT Beton Elemenindo Perkasa. Produk HCS yang dihasilkan merupakan produk yang rentan mengalami cacat pada saat produksi. Untuk itu dengan diterapkannya metode Six Sigma ini diharapkan pengendalian kualitas pada perusahaan menjadi lebih baik dan tingkat *rework* dapat berkurang.

1.1. Tinjauan pustaka

1.1.1. Kualitas

Menurut Garspersz (2010), kualitas merupakan salah satu indikator penting bagi perusahaan untuk dapat eksis di tengah ketatnya persaingan dalam industri. Kualitas didefinisikan sebagai totalitas dari karakteristik suatu produk yang menunjang kemampuannya untuk memuaskan kebutuhan yang dispesifikasikan atau ditetapkan. Mutu sebagai "kesesuaian pada persyaratan (*conformance to requirements)*" dan percaya bahwa setiap produk yang secara konsisten diproduksi kembali spesifikasi desainnya bermutu tinggi.

1.1.2. Pengendalian kualitas

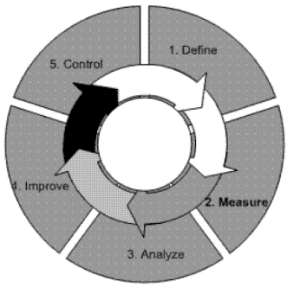
Pengendalian kualitas merupakan suatu sistem verifikasi dan penjagaan/perawatan dari suatu tingkatan / derajat kualitas produk atau proses yang di kehendaki dengan cara perencanaan yang seksama, pemakaian peralatan yang sesuai, inspeksi yang terus menerus, serta tindakan korektif bilamana diperlukan. Tujuan pengendalian kualitas adalah menyediakan suatu alat baru yang membuat pemeriksaan proses menjadi lebih efektif dan untuk mendapatkan gambaran bahwa spesifikasi produk yang telah ditetapkan apakah masih sesuai dengan kualitas standar atau perlu pengecekan terhadap kesalahan-kesalahan yang terjadi, sehingga dapat menurunkan kualitas produk tersebut (Noothalerak dan Henry, 2008).

ISBN 978-602-73461-8-5

1.1.3. Six Sigma

Menurut Garspersz (2010), Six Sigma merupakan suatu bentuk peningkatan kualitas menuju target 3,4 *defect per million opportunities* (DPMO) yang artinya 1 juta unit produk yang diproduksi hanya terdapat 3,4 unit yang cacat untuk setiap produk baik barang atau pun jasa dalam upaya mengurangi jumlah cacat. Berarti perusahaan memproduksi produk dengan tingkat kepuasan pelanggan mencapai 99,9997%. Menurut Evans (2012), Six Sigma juga dapat didefinisikan sebagai metode peningkatan proses bisnis yang bertujuan untuk menemukan dan mengurangi faktor-faktor penyebab cacat, mengurangi waktu siklus dan biaya produksi, meningkatkan produktivitas, memenuhi kebutuhan pelanggan, mencapai utilitas mesin yang optimal, serta mendapatkan hasil yang lebih baik dari segi produksi maupun pelayanan.

Terdapat pendekatan yang digunakan dalam pendekatan metode *six sigma*, yaitu pendekatan DMAIC. Siklus DMAIC dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1**.** DMAIC (Evans, 2012)

Menurut Montgomery (2009), terdapat lima langkah dasar dalam menerapkan strategi *Six Sigma* ini yaitu *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*, dimana tahapannya merupakan tahap berulang atau membentuk siklus peningkatan kualitas dengan Six Sigma:

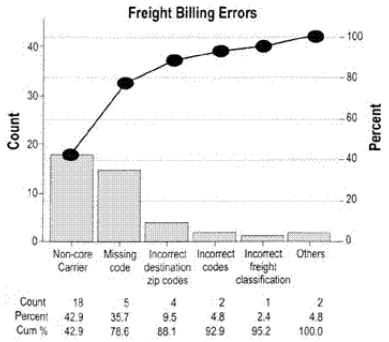
a. *Define* merupakan tahapan identifikasi terhadap permasalahan yang ada, mendefinisikan proses yang menghasilkan masalah yang akan mempengaruhi kualitas produk dan menentukan tujuan penyelesaian
b. *Measure*, merupakan tahapan pengukuran proses sistem yang sedang berjalan, yaitu dengan menciptakan suatu pengukuran yang dapat diandalkan dan valid untuk membantu dalam memonitor perkembangan ke arah tujuan yang ditetapkan.
c. *Analyze*, dilakukan dengan menentukan hubungan sebab-akibat dalam proses dan untuk memahami berbagai sumber variabilitas. Langkah ini bertujuan untuk menentukan penyebab potensial dari cacat, masalah kualitas, masalah pelanggan, waktu siklus dan masalah keluaran, atau pemborosan dan ketidakefisienan yang memotivasi proses.
d. *Improve*, merupakan tahapan dilakukannya pemikiran kreatif tentang perubahan spesifik yang dapat dibuat dalam proses dan hal-hal lain yang dapat dilakukan untuk memiliki dampak yang diinginkan pada kinerja proses.
e. *Control,* merupakan tahapan memastikan bahwa perbaikan akan terus diimplementasikan dalam proses seupa lainnya. Rencana pengendalian proses harus menjadi sistem untuk memantau solusi yang telah dilaksanakan, termasuk metode dan metrik untuk audit berkala.

1.1.4. *Tools* Six Sigma

a. Diagram Pareto
   Diagram pareto adalah grafik yang berbentuk balok vertikal yang mengurutkan hasil pengukuran dari yang tertinggi ke yang terendah, guna untuk menyusun prioritas

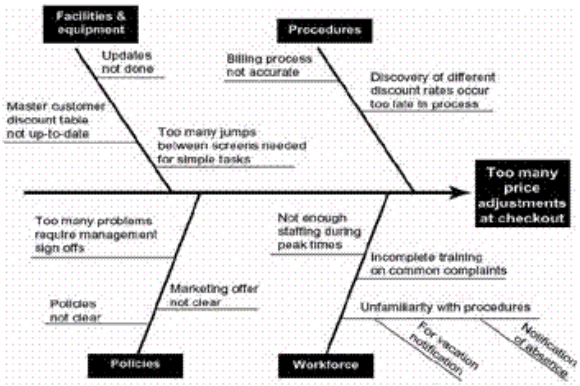
ISBN 978-602-73461-8-5

untuk memfokuskan pada masalah kerusakan produk yang lebih sering terjadi (Dale, 2009). Diagram pareto dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram pareto (George, 2010)

b. Diagram *Fishbone*
Menurut Dale (2009), diagram tulang ikan *(fishbone)* adalah diagram yang terstruktur mengidentifikasi sebab dan akibat sebuah masalah terjadi, dengan cara yaitu melakukan brainstorming secara terstruktur. Diagram *fishbone* dapat dilihat pada Gambar 3:



Gambar 3. Diagram *fishbone* (Wedgwood, 2010)

c. Peta Kendali
Menurut Dale (2009), dalam melakukan pengendalian kualitas proses statistik untuk data atribut ini terdapat peta kendali yang merupakan suatu alat bantu dalam hal mempermudah proses memonitor atau mengawasi segala proses sehingga variasi dari proses yang dihasilkan dapat dikendalikan secara statistik.

2. Metode

Penelitian ini dilaksanakan di PT Beton Elemenindo Perkasa pada departemen produksi selama sebulan terhitung sejak tanggal 3 Januari 2018 sampai dengan 2 Februari 2018. Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif analisis dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif analisis dimana tidak hanya mendeskripsikan proses mengurangi *rework* pada departemen produksi, melainkan juga dilakukan pengolahan data, analisis, dan pembahasan dari penyebab *rework* pada departemen produksi dengan metode yang digunakan yaitu metode Six Sigma dengan tahap DMAIC.

ISBN 978-602-73461-8-5

Six Sigma DMAIC merupakan metode pengendalian kualitas yang lebih lengkap dibandingkan dengan metode lain. Pemilihan metode tersebut dapat membantu bagaimana cara mengindentifikasi masalah hingga memberikan usulan perbaikan untuk meningkatkan kualitas produk diperusahaan.

Dalam desain penelitian, data diperoleh dari sumber data yang terbagi menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang di dapat secara langsung melalui pengalaman dilapangan, yaitu dengan melakukan wawancara langsung tentang proses produksi maupun pengendalian kualitas terhadap karyawan terkait dan pengamatan secara langsung pada proses produksi beton HCS. Data sekunder berupa data historis dari perusahaan, seperti data jumlah produksi beton HCS, data jumlah cacat produk, dan prosedur alur produksi.

2.1. Teknik pengumpulan data

Teknik pengumpulan data merupakan proses yang bertujuan untuk memperoleh data yang penting untuk mendukung penelitian, data yang bisa diperoleh diantaranya seperti data historis perusahaan dan data hasil wawancara.

a. Data historis perusahaan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data jumlah produksi HCS dan data jumlah cacat produk HCS dari bulan November 2017-Desember 2017.
b. Data hasil wawancara yang diperoleh yaitu dengan melakukan wawancara langsung terhadap karyawan terkait dan pengamatan secara langsung pada proses produksi HCS.

2.2. Teknik pengolahan data

Teknik pengolahan data bertujuan untuk mencari penyelesaian masalah dalam suatu penelitian. Tahapan pengolahan data dilakukan dengan mengolah data-data yang telah dikumpulkan melalui uji keseragaman data, uji kecukupan data, uji normalitas, dan DMAIC. Uji keseragaman data digunakan untuk melihat apakah data yang diambil berasal dari satu sistem/populasi yang sama. Data yang berada diluar batas kendali, dianggap sebagai data yang *out of control* dan tidak disertakan dalam perhitungan. Uji kecukupan data dilakukan untuk mengetahui jumlah sampel data yang diambil telah cukup untuk pengolahan data pada proses selanjutnya. Uji Kenormalan data digunakan untuk mengetahui apakah data cacat memiliki sebaran data normal atau tidak. Tahap DMAIC merupakan salah satu strategi Six Sigma yang terdiri dari tahap *Define, Measure, Analyze, Improve,* dan *Control* dimana tahapannya merupakan tahap berulang atau membentuk siklus peningkatan kualitas dengan Six Sigma.

3. Hasil dan Pembahasan

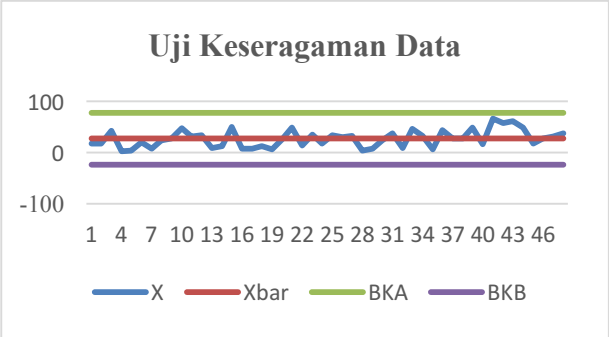
Sebelum masuk ke tahap DMAIC, dilakukan uji keseragaman data, uji kecukupan data, dan uji kenormalan data pada data produk HCS untuk mengetahui apakah data tersebut dapat dijadikan penelitian atau tidak.

3.1. Uji keseragaman data

Pada uji ini, dilakukan perhitungan untuk menentukan batas atas dan batas bawah sehingga apabila data tersebut diluar batas, maka data tersebut bersifat tidak seragam.

Berdasarkan Gambar 4, tidak terdapat data yang melewati batas atas maupun batas bawah. Sehingga, dapat dikatakan bahwa data banyaknya cacat pada departemen produksi bersifat seragam.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 4. Uji keseragaman data

3.2. Uji kecukupan data

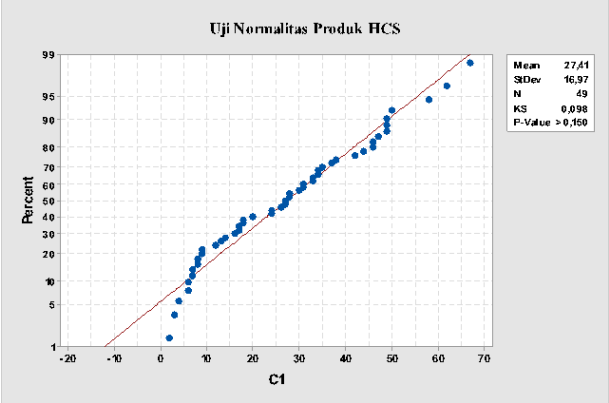
Pada uji ini, dilakukan perhitungan untuk mencari batas minimum data yang dibutuhkan agar data tersebut dapat dijadikan penelitian.

Berdasarkan perhitungan uji kecukupan data, diperoleh hasil N' (data teoritis) sebesar 24,5059 dengan tingkat keyakinan (k) sebesar 95% dan derajat ketelitian (s) sebesar 5%. Hal tersebut menunjukkan bahwa N > N' (49>24,5059) maka data yang digunakan telah mencukupi syarat untuk dilakukan pengolahan data selanjutnya.

3.3. Uji kenormalan data

Pada uji ini, digunakan *software* Minitab untuk mengetahui apakah data produksi HCS memiliki sebaran data normal atau tidak.

Berdasarkan Gambar 5, data jumlah cacat berdistribusi normal karena nilai KS nya berada diluar daerah kritis yang bernilai > 0,235. Disamping data berada diluar daerah kritis (0,098<0,235), data juga berada didaerah garis tengah yang menandakan nilainya tersebar disekitar nilai taksirannya.



Gambar 5. Uji keseragaman data

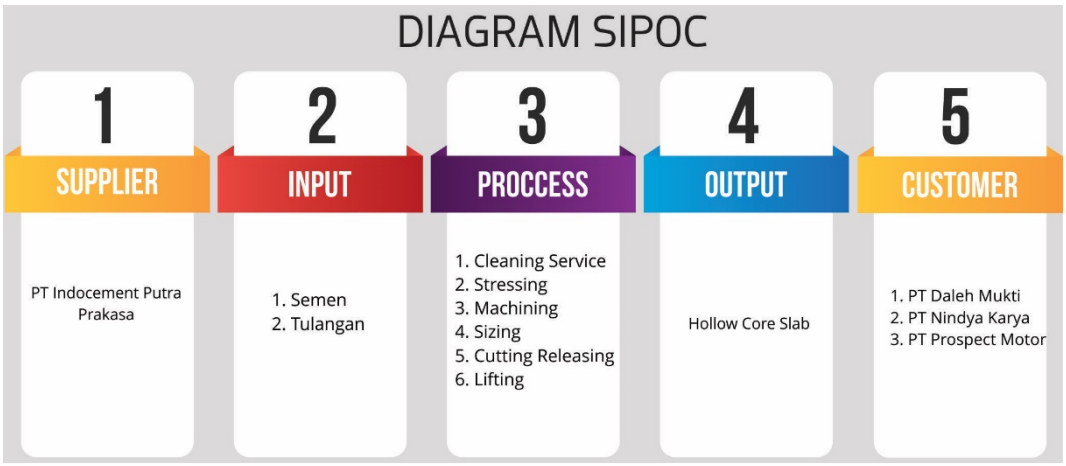
3.4. Tahap DMAIC

Tahap D*efine-Measure-Analyze-Improve-Control* sebagai berikut:

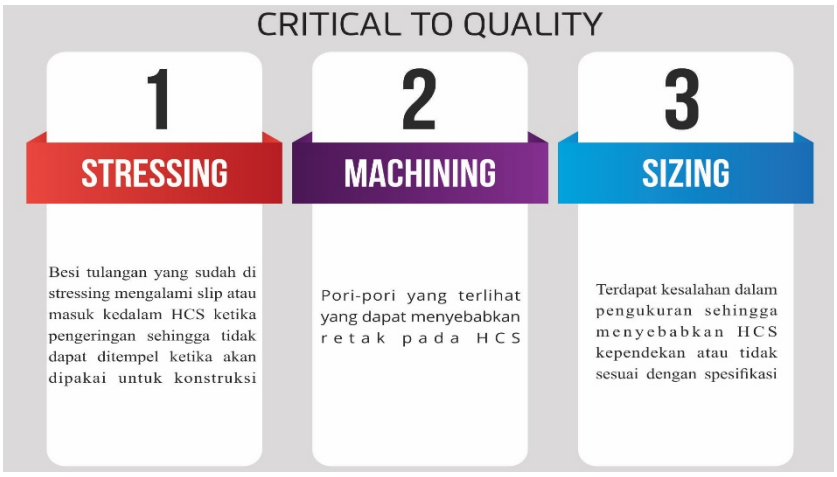
a. Tahap *Define*

Pada tahap ini dilakukan penjabaran proses dan identifikasi masalah dengan menggunakan alat bantu diagram SIPOC dan mengindentifikasi *Critical to Quality* (CTQ). Diagram SIPOC dan CTQ dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

ISBN 978-602-73461-8-5



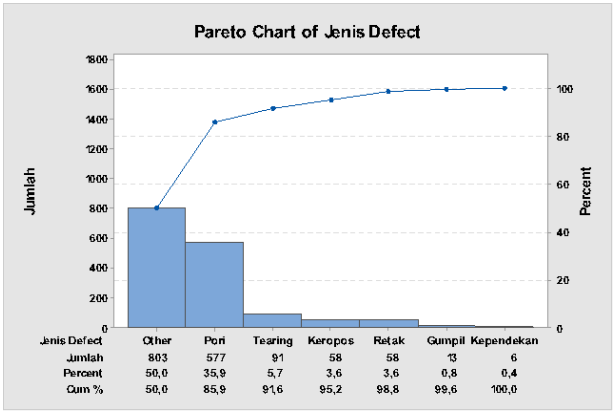
Gambar 6. Diagram SIPOC



Gambar 7. *Critical to quality*

Setelah melakukan penjabaran proses dan identifikasi masalah, selanjutnya dilakukan identifikasi jenis cacat untuk mengetahui persentase cacat yang terjadi pada departemen produksi menggunakan diagram pareto yang dapat dilihat pada Gambar 8.

ISBN 978-602-73461-8-5

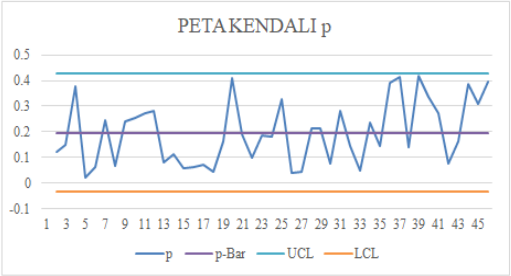


Gambar 8. Diagram Pareto

Dari Gambar 8, terlihat bahwa terdapat 7 jenis cacat yang ditemukan pada pembuatan produk HCS di departemen produksi dimana jenis *defect* yang paling banyak ada pada *other* dengan persentase 50%. Contoh jenis cacat *other* adalah slip dari tulangan, patah karena belum mengeras sempurna, dan lain-lain .

b. Tahap *Measure*

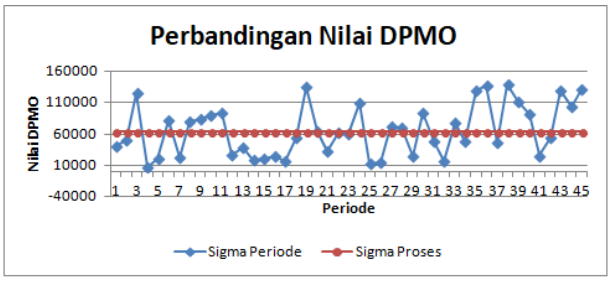
Pada tahap ini menggunakan peta kendali untuk mengetahui apakah data yang digunakan berada dalam batas kendali atau tidak. Peta kendali yang digunakan adalah peta kendali p karena jenis cacat yang digunakan adalah jenis cacat yang menyatakan terima atau tolak produk cacat. Dikarenakan dalam peta p tersebut masih terdapat data yang berada di luar batas kendali, maka data terekstrim perlu dieliminasi. Data akan dilakukan eliminasi secara terus-menerus hingga tidak ada data yang berada di luar batas kendali. Pada penelitian ini, peta kendali di iterasi sebanyak 2 kali dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 9.



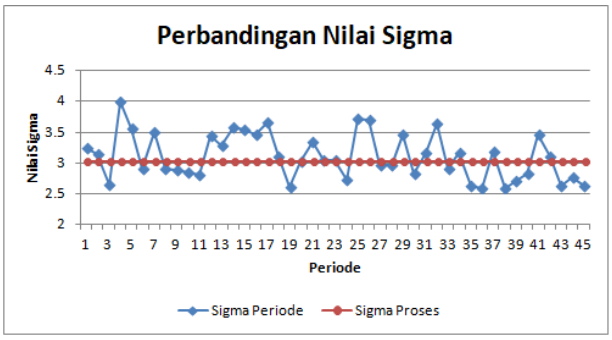
Gambar 9. Peta kendali p hasil eliminasi

Dari Gambar 9, terlihat data terdapat di dalam batas peta kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah cacat pada departemen produksi terkontrol secara statistik dengan data berjumlah 45 data. Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai DPO, DPMO, dan nilai sigma. Pada perhitungan tersebut, didapat nilai DPO sebesar 0,063 peluang cacat untuk setiap satu kejadian, nilai DPMO sebesar 63569,4174, dan nilai sigma proses sebesar 3,025 dimana semakin besar nilai sigma maka makin bagus proses dari perusahaan tersebut. Jika dilihat dari nilai sigmanya, proses pada departemen produksi sudah cukup baik mengingat industri di Indonesia memiliki nilai sigma rata-rata 2-3 sigma. Namun untuk dapat mengurangi biaya yang timbul akibat *rework,* maka departemen produksi harus meningkatkan nilai sigmanya agar jumlah cacat yang timbul dapat berkurang. Perbandingan nilai DPMO dan nilai sigma dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11:

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 10. Perbandingan nilai DPMO



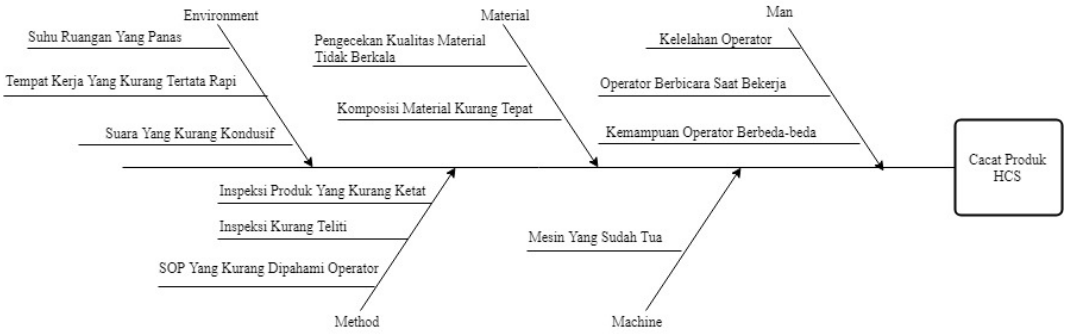
Gambar 11. Perbandingan nilai sigma

c. Tahap *Analyze*
Pada tahap ini dilakukan analisis untuk meningkatkan nilai sigma dengan menentukan nilai sigma target yang ingin dicapai. Setelah itu, mengidentifikasi penyebab masalah yang paling berdampak besar pada CTQ menggunakan diagram *fishbone*. PT Beton Elemenindo Perkasa menginginkan cacat sebesar 1,5% dari total HCS yang diproduksi sehingga nilai sigma yang ingin dicapai sebesar 3,363 sigma. Setelah dilakukan perhitungan, maka dibutuhkan 9 periode untuk meningkatkan nilai sigma dari 3,025 menjadi 3,363. Setelah menentukan waktu yang dibutuhkan untuk meningkatkan nilai sigma, langkah selanjutnya adalah menganalisis penyebab rework yang terjadi pada produk HCS menggunakan diagram fishbone pada Gambar 12.

d. Tahap *Improve*
Setelah mengetahui sumber-sumber dari akar penyebab masalah kualitas yang secara sistematis digambarkan pada diagram ishikawa/ diagram tulang ikan, maka langkah selanjutnya pada tahap *improve* adalah menetapkan rencana tindakan (*action plan*) untuk meningkatkan nilai sigma pada departemen produksi sehingga *rework* dapat diminimalisir. Usulan perbaikan yang diberikan adalah *improvement* dari penyebab-penyebab yang ada pada diagram ishikawa. Tahap *improve* dilakukan pada kelima penyebab utama yaitu *man, machine, method, material,* dan *environment.* Pada penyebab *man, improve* yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan *training* kepada operator-operator yang baru direkruit. *Improve* yang dilakukan pada penyebab *machine* yaitu dengan melakukan pengecekan dan pembersihan pada mesin secara berkala dan juga membuat penjadwalan dalam hal maintenance mesin satu bulan sekali. *Improve* yang dilakukan pada penyebab *material* yaitu dengan melakukan pengecekan kualitas material, kualitas sebelum dipotong, dan kualitas setelah beton dipotong. Selain itu, juga membuat SOP komposisi material. *Improve* yang dilakukan pada penyebab *method* yaitu dengan melakukan inspeksi lebih ketat, melakukan training kepada operator, dan pengarahan tentang SOP. *Improve* yang dilakukan pada

ISBN 978-602-73461-8-5

penyebab *environment* yaitu dengan menggunakan *exhaust fan* untuk mengurangi suhu yang panas. Selain itu, menata tempat kerja dengan cara menaruh barang sisa pemotongan ke tempat pembuangan sampah dan juga menyediakan penutup telinga kepada operator.



Gambar 12. Diagram *fishbone*

e. Tahap *Control*

Tahap ini merupakan tindakan pengendalian terhadap tahapan-tahapan sebelumnya yang telah dilakukan dimana bertujuan untuk menjaga konsistensi perbaikan-perbaikan yang dilakukan untuk perbaikan kualitas. Pada penelitian ini, tahap *control* belum diimplementasikan sampai ke perusahaan sehingga beberapa saran diberikan dengan harapan kedepannya saran ini dapat diterapkan atau menjadi pertimbangan bagi perusahaan.

- *Quality Report*

  Merupakan catatan mengenai jumlah produksi, jumlah cacat produk, dan masalah yang menjadi penyebab cacat produk pada proses produks sehingga perusahaan dapat mengetahui jumlah cacat serta penyebabnya.

- *Check Sheet*

  Merupakan sebuah dokumen sederhana yang digunakan untuk mengumpulkan data untuk pengendalian kualitas sehingga perusahaan dapat memeriksa item cacat, lokasi, hingga penyebab cacat tersebut.

4. Kesimpulan

Proses pada departemen produksi dapat dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu tahap *cleaning service*, *machining, sizing*, *cutting,* dan *lifting*. Setelah mengidentifikasi proses dan pengolahan data, diperoleh nilai DPMO pada departemen produksi sebesar 63569,417. Nilai sigma yang diperoleh ialah 3,025 yang masih jauh dari nilai 6 sigma. Nilai sigma sebesar 3,025 termasuk cukup baik untuk kategori rata-rata industri di Indonesia.

Terdapat 7 jenis cacat pada departemen produksi. Jenis cacat tersebut antara lain kependekan, gumpil, retak, keropos, tearing, pori, dan *other* dimana jenis cacat yang paling dominan serta berpengaruh terhadap tingginya *rework* adalah jenis cacat *other* yang memiliki tingkat cacat sebesar 50%. Contoh jenis cacat *other* adalah slip dari tulangan, patah karena belum mengeras sempurna, dan lain-lain .

Faktor-faktor penyebab terjadinya ketidaksesuaian pada departemen produksi dapat dilihat dari 5 aspek yaitu *man, machine, method, material,* dan *environment.* Dari kelima faktor tersebut, faktor *method, man,* dan *environment* merupakan faktor penyebab terbanyak yaitu sebanyak 3 penyebab. Hal ini menunjukkan bahwa pihak manajer memprioritaskan perbaikan pada metode yang digunakan di departemen produksi. Metode

ISBN 978-602-73461-8-5

yang digunakan harus diperbaiki agar penyebab *rework* dapat diminimalisir sehingga target sigma dapat tercapai.

Usulan perbaikan untuk mengurangi cacat yang terjadi antara lain dengan mengadakan *training* untuk operator, *self-maintenance* oleh operator terhadap peralatan yang digunakan, memperketat inspeksi oleh pihak QC untuk material maupun produk jadi, membuat SOP tertulis, membuat penjadwalan *maintenance mesin*, memasang *exhaust fan,* dan menata tempat kerja agar lebih rapi.

Daftar Pustaka

Brue, Greg. 2002. *Six sigma for Managers,* Mc Graw-Hill Book Inc, New York.

Dale, B.G., Wiele, T. and Iwaarden, J., 2009, Managing Quality, 5th Edition, Blackwell Publishing Ltd., Oxford.

Evans, James dan William Lindsay. 2012. *An Introduction to Six Sigma & Process Improvement: Pengantar Six Sigma*, Penerbit Salemba Empat, Jakarta.

Gaspersz, Vincent. 2010. *Lean Six Sigma for Manufacturing and Service Industries,* Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Lupiyoadi, Rambat. 2001. *Manajemen Pemasaran Jasa (Teori dan Praktek)*, Edisi Pertama, Penerbit Salemba Empat, Jakarta.

Montogomery, D.C. 2009. *Introduction to Statistical Quality Control 4th Edition*, John Wiley & Sons, Inc, New York.

Nonthaleerak, P. and Henry, L., 2008, Exploring the six sigma phenomenon using multiple case study evidence, *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 28(3), pp.279-303

Pande, Pete and Larry Holpp. 2002. *What is six sigma?* New York: Mc Graw-Hill Book Inc.

S. Assauri. 1998. *Manajemen Operasi Dan Produksi*, LP FE UI, Jakarta.

Wijaya, R.I. 2010. *Analisis Proyek*, FT UI, Jakarta.

Yohanes, Caesaron D. 2015. *Implementasi Pendekatan DMAIC Untuk Perbaikan Proses Produksi Pipa PVC*, 16, 91-96.

ISBN 978-602-73461-8-5

Penjadwalan Perawatan *Preventive Maintenance Replacement* dan Penentuan Kebutuhan *Spare Part* pada Mesin *Craneship Unloader*

Putro Ferro Ferdinant, Evi Febianti, Ade Irman Saeful M., Angga Syahreza Putra
Jurusan Studi Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl.Jendral Sudirman Km.3 Cilegon-Banten 42433
Email : ferdinant@untirta.ac.id

Intisari

PT.ABC merupakan pelabuhan industri yang mempunyai pelayanan jasa bongkar muat. PT.ABC menggunakan mesin craneship unloader untuk pembongkaran muat, masalah yang terjadi adalah mesin mengalami downtime saat beroperasi dikarenakan penjadwalan perawatan yang kurang baik. Penjadwalan perawatan untuk penggantian komponen yang optimal dapat mengurangi terjadinya downtime. Penjadwalan perawatan ini diterapkan untuk komponen kritis pada mesin craneship unloader yang memiliki total waktu breakdown tertinggi. Tujuan penelitian ini untuk memperoleh jadwal usulan waktu penggantian pencegahan komponen yang optimal pada komponen kritis dan mengetahui tingkat kebutuhan spare part yang diperlukan serta mengetahui total biaya inventory yang dikeluarkannya. Metode penelitian ini menggunakan age replacement dan poison process serta economic order quantity. Hasil penelitian penggantian komponen yang optimal pada komponen kritis untuk unit elektrik komponen control system cms selama 82 hari dan komponen cable reel medium voltage selama 38 hari serta untuk unit mekanik pada komponen trolley system bagian (karet kopling, baut, guide rell wheel, pulley, sling) adalah selama 24 hari, 35 hari, 26 hari, 73 hari, 56 hari. Demand spare part untuk unit elektrik selama setahun adalah 8 unit; 15 unit dan untuk unit mekanik selama setahun adalah (22 unit; 16 set; 6 unit; 3 unit; 11 meter). Total biaya inventory yang harus dikeluarkan adalah sebanyak Rp.181.498.147.

Kata kunci: Age Replacement, Downtime, Economic Order Quantity (EOQ), Inventory, Poisson Process

1. Pendahuluan

PT. ABC merupakan pelabuhan industri yang mempunyai pelayanan jasa bongkar muat. PT. ABC menggunakan mesin *craneship unloader* untuk pembongkaran muat, masalah yang terjadi saat pembongkaran muat adalah mesin mengalami *downtime* saat beroperasi sehingga mengganggu proses pembongkaran bahkan mengakibatkan prosesnya terhenti hal ini dikarenakan penjadwalan perawatan yang kurang baik. Penjadwalan perawatan untuk penggantian komponen yang optimal dapat mengurangi terjadinya *downtime*. Penjadwalan perawatan ini diterapkan untuk komponen kritis pada mesin *craneship unloader* yang memiliki total waktu *breakdown* tertinggi.

1.1. Perumusan masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana menentukan *craneship unloader* yang memiliki *breakdown* tertinggi serta komponen kritis pada *craneship unloader* tersebut dan berapa nilai waktu rata – rata kerusakan yang terjadi untuk setiap penggantian komponen saat ini dilanjutkan berapa jadwal usulan waktu penggantian pencegahan komponen yang optimal pada komponen kritis dan berapakah tingkat

ISBN 978-602-73461-8-5

kebutuhan spare part yang diperlukan untuk menerapkan usulan waktu yang optimal serta berapakah total biaya inventory yang dikeluarkan akan tingkat kebutuhan *spare part* yang diperlukan.

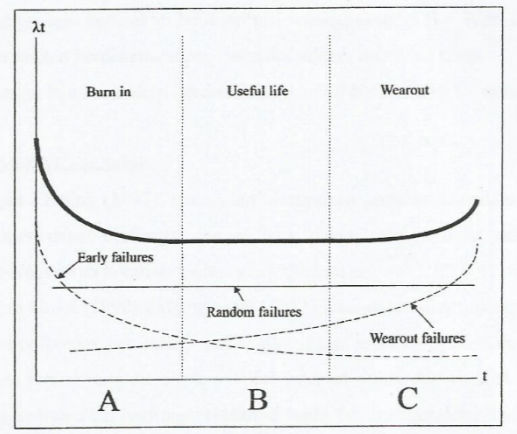
1.2. Tujuan penelitian

Tujuan penelitian ini untuk menentukan *craneship unloader* yang memiliki *breakdown* tertinggi serta komponen kritis pada *craneship unloader* tersebut dan menentukan nilai waktu rata – rata kerusakan yang terjadi untuk setiap penggantian komponen saat ini dilanjutkan untuk memperoleh jadwal usulan waktu penggantian pencegahan komponen yang optimal pada komponen kritis dan mengetahui tingkat kebutuhan spare part yang diperlukan untuk menerapkan usulan waktu yang optimal serta mengetahui total biaya *inventory* yang dikeluarkan selama setahun akan tingkat kebutuhan *spare part* yang diperlukan.

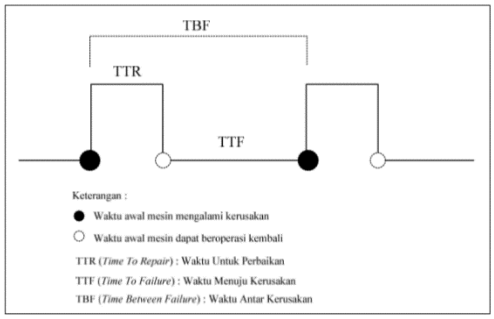
1.3. Tinjauan pustaka

1.3.1. Perawatan dan laju kerusakan

Menurut Ebeling (1997) mendefiniskan perawatan sebagai bentuk kegiatan yang dilakukan untuk mencapai hasil yang mampu mengembalikan item atau mempertahankannya pada kondisi yang selalu dapat berfungsi. Menurut Ebeling (1997), Laju kerusakan (*failure rate*) merupakan laju dimana kerusakan terjadi pada interval waktu yang ditetapkan. Untuk mengenal laju kerusakan dapat membayangkan sebuah tes atau percobaan yang dilakukan, dimana percobaan tersebut dilakukan dalam jumlah yang besar terhadap komponen – komponen yang identik dioperasikan dan waktu untuk gagal setiap komponen dicatat.



Gambar 1. *Bath-tube Curve*
Sumber: Ebeling (1997)



Gambar 2. Ilustrasi *Time Failure*
Sumber: Ebeling (1997)

Menurut Ebeling (1997) keandalan merupakan probabilitas suatu peralatan atau komponen dapat berfungsi dengan baik dalam satu periode waktu ketika digunakan berdasarkan kondisi operasi yang ditetapkan.

1.3.2. MTTF (*Mean Time To Failure*), MTTR (*Mean Time To Repair*) dan MTBF (*Mean Time Between Failure*)

Menurut Nuhman (2016), Time Failure adalah waktu kerusakan mesin yang dipakai untuk mengetahui besarnya nilai kehandalan (reliability) dan pertimbangan untuk menentukan strategi perawatan (maintainability) pada suatu mesin. Time failure terdiri atas

ISBN 978-602-73461-8-5

TTF (Time To Failure), TTR (Time To Repair) dan TBF (Time Between Failure). Berikut ini adalah ilustrasi dari TTF, TTR dan TBF. MTTF (*Mean Time To Failure*) merupakan rata-rata waktu diantara kerusakan (Ebeling, 1997). Untuk komponen mesin yang sifatnya non repairable nilai MTBF sama dengan nilai MTTF, karena ketika kerusakan terjadi, komponen tersebut langsung diganti dengan yang baru. MTTF (*Mean Time To Failure*) merupakan rata-rata waktu menuju kerusakan, MTTR (*Mean Time To Repair*) merupakan rata-rata waktu untuk perbaikan dan MTBF (*Mean Time Between Failure*) merupakan rata-rata waktu diantara kerusakan. Berikut ini adalah cara perhitungan MTTF/MTBF untuk masing-masing distribusi:

1. Distribusi Normal

$MTBF = \mu$……(1)

2. Distribusi Eksponensial

$MTBF = \frac{1}{\lambda}$……..…(2)

3. Distribusi Weibull

$MTBF = \theta\Gamma(\frac{1}{\beta} + 1)$ ……..…(3)

1.3.3. Model *Age Replacement*

Model *Age Replacement* yaitu dimana interval waktu penggantian komponen dengan meperhatikan umur pemakaian dari komponen tersebut, sehingga dapat menghindari terjadinya penggantian peralatan yang masih baru dipasang akan diganti dalam waktu yang relatif singkat, jika terjadi suatu kerusakan model ini akan menyesuaikan kembali jadwalnya setelah penggantian komponen dilakukan, baik akibat terjadinya kerusakan maupun hanya bersifat sebagai perawatan pencegahan. Berikut merupakan gambar dari model *age replacement*.

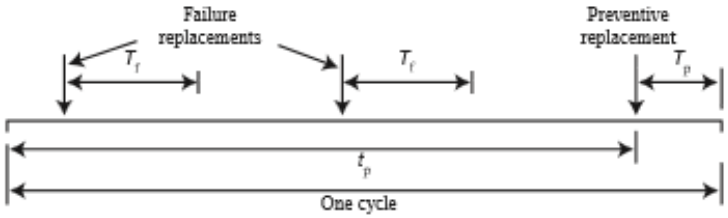


FIGURE 2.27 Downtime minimization: optimal interval.

Sumber: Jardine A(2006)

Gambar 3. Model *Age Replacement*

Dengan rumus sebagai berikut:

$$D(tp) = \frac{Tp.R(tp) + Tfx(1-R(tp)}{(tp+Tp)xR(tp) + (M(tp)+Tf)x(1-R(tp)} \quad \text{……(4)}$$

Keterangan:

t_p = Interval waktu penggantian pencegahan per satuan waktu.
T_f = Waktu yang diperlukan untuk penggantian karena kerusakan.
T_p = *Downtime* yang terjadi karena kegiatan penggantian.
$f_{(t)}$ = Fungsi distribusi interval waktu antar kerusakan.
$R_{(tp)}$ = Kehandalan terjadinya siklus i pada saat t_p.
$M_{(tp)}$ = Waktu rata-rata terjadinya suatu kerusakan, jika penggantian dilakukan saat t_p.

ISBN 978-602-73461-8-5

$$M(tp) = \frac{MTBF}{1-R(tp)} \quad \text{.....(5)}$$

1.3.4. *Poisson process*

Poisson process merupakan salah satu metode untuk menghitung kebutuhan *spare* part dalam satu periode. Dalam menghitung kebutuhan komponen menngunakan *Poisson process*, komponen diklasifikasikan menjadi komponen *repairable* dan *non repairable* karena dalam perhitungannya menggunakan rumus yang berbeda. Komponen *non repairable* merupakan komponen yang bila terjadi kerusakan maka akan langsung diganti dengan komponen baru karena komponen tersebut tidak dapat diperbaiki. Rumus menghitung kebutuhan komponen *non repairable* menggunakan metode *Poisson process* adalah sebagai berikut.

$$\lambda t = \frac{A\ x\ N\ x\ M\ \ x\ T}{MTBF} \quad \text{.....(6)}$$

$$P \leq \sum_{x=0}^{n} = e^{-\lambda 1 t}(1 + \lambda t + \cdots + \frac{((\lambda 1 t)^n)}{n!}) \quad \text{.....(7)}$$

Keterangan:
A = jumlah komponen dalam mesin
P = *confidence level* (95%)
N = jumlah mesin
T = periode (1 tahun)
M = jam operasional mesin (720 jam/bulan)

Komponen *repairable* merupakan komponen yang jika terjadi kerusakan, maka komponen masih dapat diperbaiki. Berbeda dengan perhitungan komponen non *repairable*, komponen *repairable* menggunakan nilai MTTR dan nilai scrap rate.

$$\lambda_1 t = \frac{A\ x\ N\ x\ M\ \ x\ T}{MTBF} \quad \text{.....(8)}$$

$$\lambda_2 t = \frac{A\ x\ N\ x\ M\ \ x\ MTTR}{MTBF} \quad \text{.....(9)}$$

$$P \leq \sum_{x=0}^{n} = e^{-\lambda 1 t}(1 + \lambda t + \ldots + \frac{((\lambda 1 t)^{n-1})}{n!}) \quad \text{.....(10)}$$

1.3.5. *General EOQ model*

Economic Order Quantity (EOQ) merupakan salah satu model manajemen persediaan, model EOQ digunakan untuk menentukan kuantitas pesanan persediaan yang dapat meminimalkan biaya penyimpanan dan biaya pemesanan persediaan. *Economic Order Quantity* (EOQ) adalah jumlah kuantitas barang yang dapat diperoleh dengan biaya yang minimal, atau sering dikatakan sebagai jumlah pembelian yang optimal. Pada model umum EOQ terdapat asumsi dimana jumlah permintaan konstan. Hal tersebut tentunya kurang menggambarkan pergerakan kebutuhan spare part mesin yang mempunyai laju kerusakan yang semakin meningkat seiring berjalannya waktu. Adapun rumus model umum EOQ adalah sebagai berikut (Boylan, J. 2008) dalam Iqbal M, dkk (2015).

$$EOQ = Q* = \sqrt{2} \times D \times S \times I \times C \quad \text{.....(11)}$$

Dimana:
D = demand selama satu periode

ISBN 978-602-73461-8-5

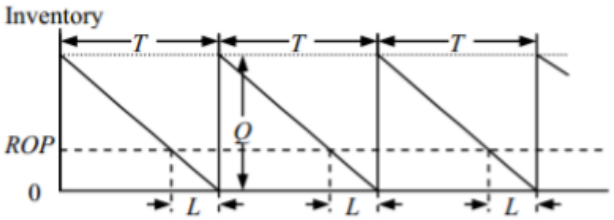
S = biaya setiap kali pesan
C = harga komponen
I = *fraction of holding cost*

Dilakukan perhitungan safety stock dan reorder point untuk mengetahui kapan perusahaan harus memesan kembali dan jumlah minimun komponen yang ada di gudang untuk menghindari adanya stockout. Adapun rumus dari safety stock dan reorder point adalah sebagai berikut (Boylan, J. 2008) dalam Iqbal M, dkk (2015).

$$SS = \left(\frac{D}{Jumlah\ hari\ kerja\ setahun}\right) \times L \quad \text{.....(12)}$$

$$ROP = 2 \times \left(\frac{D}{Jumlah\ hari\ kerja\ setahun}\right) \times L \quad \text{.....(13)}$$

Dimana:
D = kebutuhan komponen selama setahun
L = lead time (hari)



Gambar 4. Konsep model inventory klasik.
Sumber: (Boylan, J. 2008)

Pada Gambar 4 menunjukan bahwa Q adalah jumlah optimum pemesanan untuk meminimasi total biaya inventory. Rumus untuk mengitung total biaya pada metode ini adalah sebagai berikut (Boylan, J. 2008) dalam Iqbal M, dkk (2015).

$$Total\ Cost = S\left(\frac{D}{Q}\right) + C.I\left(\frac{Q}{2}\right) + (D.C) \quad \text{.....(14)}$$

Keterangan:
S = *ordering cost*
D = jumlah kebutuhan dalam setahun
Q = jumlah optimal pemesanan
I = *fraction of holding cost*
C = harga komponen.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode kuantitatif dengan tipe penelitian kausal- komparatif dan desain penelitian kasus kontrol. Pada penelitian ini, dikumpulkan data-data kuantitatif seperti data waktu *breakdown* mesin *craneship unloader*, data waktu *downtime* untuk tiap komponen pada mesin *craneship unloader* yang mengalami *breakdown* tertinggi, dan data rekapitulasi harga pengadaan *spare part* pada perusahaan. Data-data tersebut yang kemudian diolah untuk mendapatkan nilai *Mean Time Beetween Failure* pada penggantian komponen yang diterapkan diperusahaan saat ini dilanjutkan dengan mendapatkan nilai usulan waktu penggantian pencegahan komponen yang optimal berdasarkan model *age replacement*, setelah diketahui penggantian yang optimal dilanjutkan dengan perhitungan tingkat kebutuhan *spare part* selama setahun

ISBN 978-602-73461-8-5

menggunakan metode *poisson process* serta dilakukan perhitungan *total cost inventory* dari tingkat kebutuhan *spare part* tersebut selama setahun menggunakan *Economic Order Quantity*.

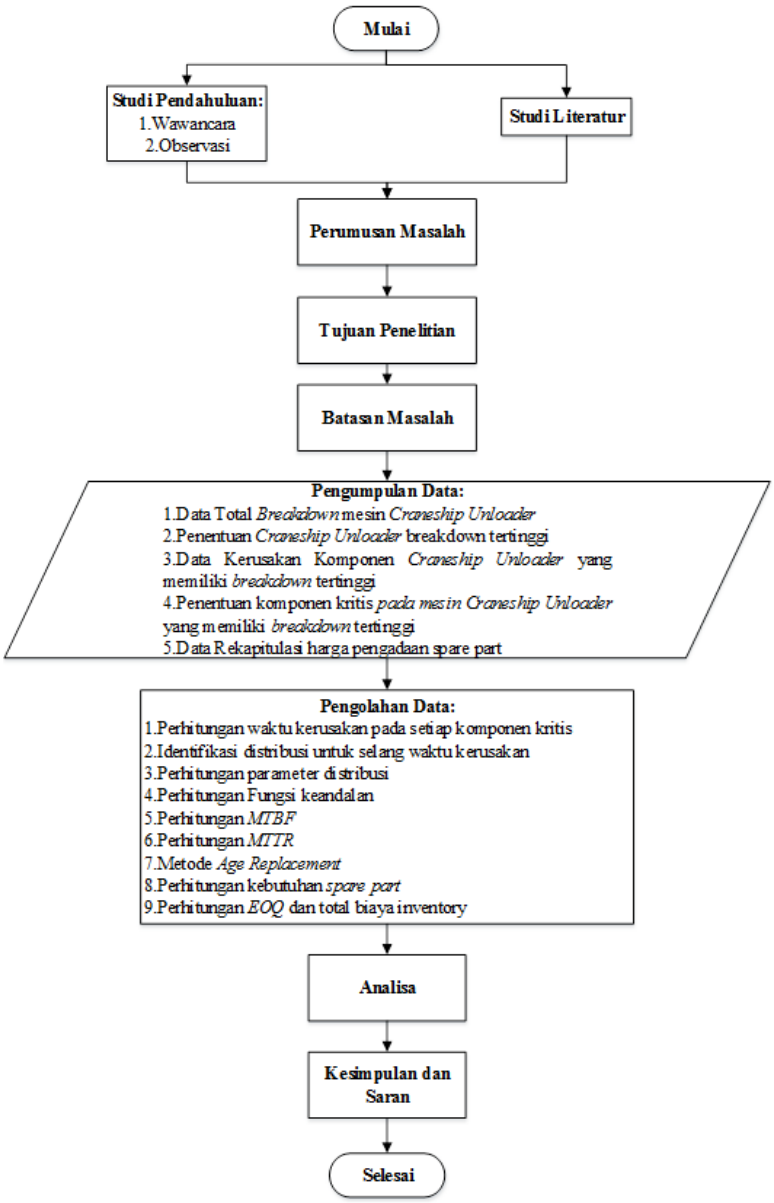
3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini pengolahan data dilakukan dengan perhitungan waktu kerusakaan komponen yang akan diolah, selanjutnya pengidentifikasi distribusi, perhitungan parameter distribusi, perhitungan fungsi keandalan, perhitungan *Mean Time Beetween Failure*, perhitungan model *Age Replacement*, perhitungan kebutuhan *spare part* komponen, perhitungan *inventory* menggunakan model *EOQ*.

3.1. Penentuan *craneship unloaders* dan komponen kritis

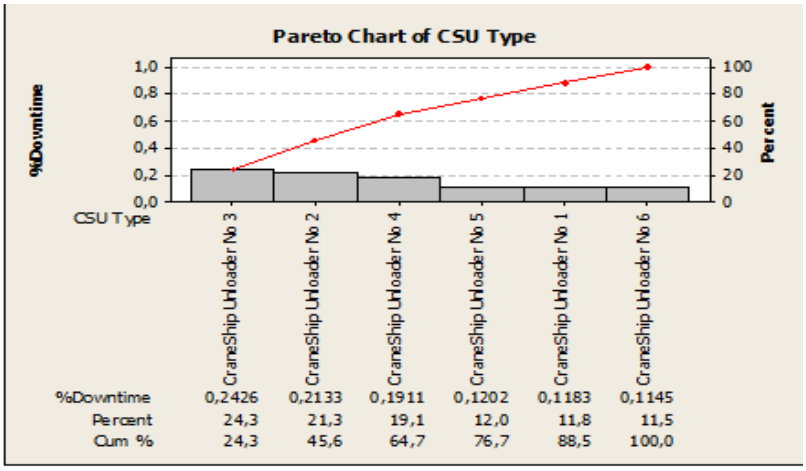
Craneship Unloader merupakan mesin crane yang digunakan oleh perusahaan PT. ABC untuk melakukan bongkar muat yang memiliki nilai total *breakdown* berbeda yang dimiliki selama 1 tahun terakhir. Berikut merupakan penentuan *CSU* yang memiliki *breakdown* tertinggi menggunakan diagram pareto dapat dilihat pada Gambar 6.

ISBN 978-602-73461-8-5



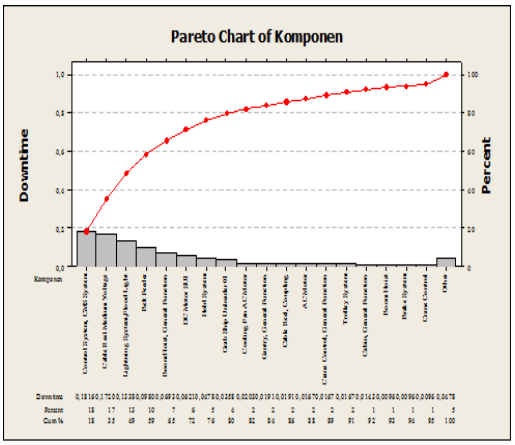
Gambar 5. *Flowchart* pemecahan masalah

ISBN 978-602-73461-8-5

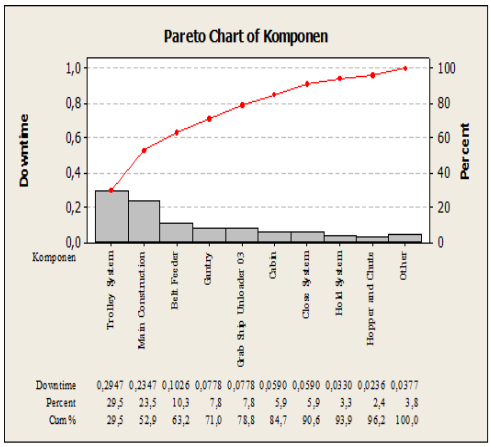


Gambar 6. Pareto chart rekap total downtime CSU

Berdasarkan Diagram Pareto diketahui bahwa berdasarkan total *dowtime* masing-masing *CSU* didapatkan bahwa *Craneship Unloader* no 3 adalah mesin *craneship unloader* yang bersifat kritis karena memiliki persentase *breakdown* tertinggi.



Gambar 7. Pareto chart komponen craneship unloader no.3 unit elektrik



Gambar 8. Pareto chart komponen craneship unloader no.3 unit elektrik

Berdasarkan dua gambar Diagram Pareto pada Gambar 7 dan Gambar 8 diketahui bahwa berdasarkan total *dowtime* masing – masing komponen pada *Craneship Unloader* no. 3 unit elektrik didapatkan bahwa komponen *Control System, CMS System* dan *Cable Reel Medium Voltage* serta untuk unit mekanik didapatkan bahwa komponen *trolley system* merupakan komponen kritis karena memiliki persentase kumulatif *downtime* 20% dari total *downtime*.

3.2. Perhitungan *Mean Time Beetween Failure* dan *Mean Time To Repair*

Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan dari *Mean Time Beetween Failure* dari setiap komponen kritis pada *craneship unloader* no.3 dapat dilihat pada Tabel 1. MTTR adalah waktu rata-rata untuk waktu pengecekan atau perbaikan saat komponen atau unit tersebut diperiksa sampai komponen atau unit tersebut digunakan atau dihidupkan kembali dapat dilihat pada Tabel 2.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 1. Rekapitulasi nilai *MTBF* komponen kritis pada CSU no.3

No.	Komponen	Part	Distribusi	Nilai MTBF (jam)
1.	Control system, cms (elektrik)	Control system	-	2879
2.	Cable reel medium voltage (elektrik)	Cable roll	Weibull	1237,7
3.	Trolley system (mekanik)	Karet kopling	Weibull	1155,1
		Baut	Weibull	1835,3
		Guide rell wheel	Weibull	698,6
		Pulley	Weibull	2329,4
		Sling	Weibull	1620,8

Tabel 2. Rekapitulasi nilai *MTTR* komponen kritis pada *CSU* no.3

No.	Komponen	Part	Distribusi	Nilai MTTR (jam)
1.	Control system, cms (elektrik)	Control system	-	19
2.	Cable reel medium voltage (elektrik)	Cable roll	Weibull	3,5891527
3.	Trolley system (mekanik)	Karet kopling	Weibull	1,4924714
		Baut	Weibull	1,5414176
		Guide rell wheel	Weibull	2,320235
		Pulley	Weibull	12,668052
		Sling	Weibull	6,8038824

3.3. Model *Age Replacement*

Model *Age Replacement* merupakan tindakan penggantian dilakukan pada saat pengoperasiannya sudah mencapai umur yang ditetapkan, yaitu sebesar t_p. Berikut ini adalah contoh model *age replacement* untuk *trolley,* karet kopling dengan waktu untuk satu kali perawatan preventif adalah 60 menit atau selama 1 jam yang dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. *Age replacement* simulasi *trolley*, karet kopling

Jam	R(tp)	D(tp)	A(tp)
1	0,999962792	0,000864271	0,999135729
250	0,906427435	0,00075654	0,99924346
500	0,767857405	0,000723536	0,999276464
571	0,726690344	0,000722149	0,999277851
600	0,709893857	0,000722354	0,999277646
1100	0,443217132	0,000775118	0,999224882
1155,1	0,417933001	0,000784978	0,999215022
1200	0,398016471	0,000793436	0,999206564

ISBN 978-602-73461-8-5

Jam	R(tp)	D(tp)	A(tp)
1300	0,356034502	0,000813434	0,999186566

Berdasarkan Tabel 3 pada waktu *interval* jam ke - 1 hingga 571 komponen *Trolley,* karet kopling memiliki nilai *downtime* yang menurun. Sementara itu pada waktu *interval* jam ke - 571 hingga 1300 pada komponen tersebut memilki nilai *downtime* yang semakin naik. Sehingga hal ini membuat pada *interval* waktu jam ke 571 merupakan selang waktu yang optimal untuk penggantian komponen yang dapat dilihat pada tabel 31 dengan diberi keterangan warna biru, sementara itu untuk keterangan yang diberi warna kuning merupakan waktu yang diterapkan oleh perusahaan dalam penggantian komponen *Trolley,* karet kopling saat ini. Berikut ini merupakan rekapitulasi penggantian pencegahan menggunakan model *age replacement* untuk semua komponen kritis pada *craneship unloader* nomor 3 pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Rekapitulasi waktu penggantian untuk komponen kritis *CSU* no.3

Komponen	*Part*	Waktu Penggantian berdasarkan *MTBF* (jam)	Waktu Penggantian berdasarkan *Age Replacement* (jam)
Control System (Elektrik)	Control System, CMS	2879	1967
Cable Reel Medium Voltage (Elektrik)	Cable Drum,Limit Swtich	1237,7	906
Trolley System (Mekanik)	Karet Kopling	1155,1	571
	Baut	1835,3	833
	Guide Rell Wheel	698,6	608
	Pulley	2329,4	1747
	Sling	1620,8	1343

3.4. Perhitungan kebutuhan *spare part* dengan metode *poisson process*

Ketersediaan *spare part* dalam perencanaan perawatan merupakan suatu hal yang penting. Berikut merupakan perhitungan kebutuhan *spare part* untuk komponen kritis berdasarkan *age replacement* dengan menggunakan metode *poisson process* untuk jenis yang bersifat *nonrepairable* dan *repairable*.

3.5. Komponen *nonrepairable*

Komponen non repairable adalah komponen-komponen yang jika mengalami kerusakan tidak bisa diperbaiki dan harus langsung di ganti. Berikut ini contoh perhitungan persediaan *spare part Trolley,* karet kopling untuk *spare part* yang bersifat *Non Repairable* dapat dilihat pada Tabel 5.

$\lambda_1 t = \frac{A \; x \; N \; x \; M \; x \; T}{MTBF}$

$= \frac{1 \; x \; 1 \; x \; 720 \; x \; 12}{571} = 15{,}13134851$

Dengan P (*Confidence Level*) = 95 % dan n adalah jumlah banyak *spare*.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 5. Rekapitulasi jumlah *spare part* yang diterima trolley, karet kopling

Trolley, Karet Kopling			
(n)	λt	Probabilitas	Hasil
0	2,68249E-07	0,00%	Tolak
1	2,68249E-07	0,00%	Tolak
2	3,50361E-05	0,00%	Tolak
3	0,000189925	0,02%	Tolak
4	0,000775845	0,08%	Tolak
5	0,002548996	0,25%	Tolak
6	0,007020691	0,70%	Tolak
7	0,016686801	1,67%	Tolak
8	0,034969461	3,50%	Tolak
9	0,065707384	6,57%	Tolak
10	0,112218006	11,22%	Tolak
11	0,176196954	17,62%	Tolak
12	0,256870934	25,69%	Tolak
13	0,350771404	35,08%	Tolak
14	0,452260028	45,23%	Tolak
15	0,554637345	55,46%	Tolak
16	0,651456523	65,15%	Tolak
17	0,737633271	73,76%	Tolak
18	0,810076072	81,01%	Tolak
19	0,86776856	86,78%	Tolak
20	0,911416817	91,14%	Tolak
21	0,94286715	94,29%	Tolak
22	0,964498329	96,45%	Terima

Probabilitas untuk banyaknya *spare part* 22 lebih besar dari 95% ketersediaan yang diharapkan sehingga dengan 22 buah persediaan *spare part Trolley,* karet kopling dapat diterima.

3.6. Komponen *repairable*

Perhitungan persediaan *spare part* komponen menggunakan metode *poisson process*. Komponen *repairable* adalah komponen-komponen yang jika mengalami kerusakan masih bisa diperbaiki dan tidak harus langsung di ganti. Dengan diketahui:

$$\lambda t = \frac{A \; x \; N \; x \; M \;\; x \; T}{MTBF}$$

$$= \frac{1 \; x \; 1 \; x \; 720 \;\; x \; 12}{608} = 14{,}210$$

P (*Confidence Level*) = 95 %
MTTR: 2,320 Jam
R (*Scrap Rate)*: 20 % = 0,2
MTTR: 2,320 Jam
R (*Scrap Rate)*: 20 % = 0,2

Karena komponen *trolley* bagian *guide rail wheel* mengalami kerusakan dikarenakan sudah aus pada bagian *rail* nya dengan meninggalkan nilai fungsi dari kegunaan *rail* tersebut sebesar 20% sehingga perlu diperbaiki di *workshop*. Berkut merupakan nilai probabilitas yang diolah terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai tingkat kebutuhan *spare part* selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 6.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 6. Rekapitulasi dari probabilitas P1 (λ1t) dan P2 (λ2t)

n	$P1(n;\lambda_1)$	$P2(n;\lambda_2)$
0	0,058302794	0,955238618
1	0,165702678	0,0437443
2	0,235472226	0,001001616
3	0,223078951	1,52894E-05
4	0,158503465	1,75041E-07
5	0,090096706	1,60317E-09
6	0,042677387	1,22359E-11

Untuk n [0,6] maka kemudian probabilitas P1 dan P2 tersebut dikombinasikan untuk beberapa iterasi hingga nilai *poisson* probability diatas nilai *Confidence Level* yang telah ditetapkan, yaitu sebesar 95% yang dapat dilihat pada tabel 7 dibawah ini:

Tabel 7. Perhitungan kebutuhan *spare part repairable* untuk komponen *trolley, guide rell wheel*

	P1(n;λ1)	0	1	2	3	4	5	6	P (%)	P Level(%)	KET
P2(n;λ2)		0,0583028	0,1657027	0,2354722	0,223079	0,1585035	0,0900967	0,0426774			
0	0,9552386	0,0556931							6%	95%	FALSE
1	0,0437443	0,0582435	0,1582856						22%	95%	FALSE
2	0,0010016	0,0583019	0,1655341	0,2249322					45%	95%	FALSE
3	1,529E-05	0,0583028	0,1657001	0,2352327	0,2130936				67%	95%	FALSE
4	1,75E-07	0,0583028	0,1657026	0,2354686	0,2228521	0,1514086			83%	95%	FALSE
5	1,603E-09	0,0583028	0,1657027	0,2354722	0,2230755	0,1583423	0,0860639		93%	95%	FALSE
6	1,224E-11	0,0583028	0,1657027	0,2354722	0,2230789	0,158501	0,0900051	0,0407671	97%	95%	TRUE

Dari Tabel 7 iterasi di atas dapat diketahui untuk memenuhi *confidence level* 95 % ketersediaan *spare part guide rail wheel* dari komponen *trolley* unit mekanik selama satu tahun adalah 6 buah *spare part.* Berikut ini merupakan hasil rekapitulasi atau demand *spare part* dari Komponen kritis pada *Craneship Unloader* no 3 selama satu tahun dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi banyak jumlah spare part dari komponen kritis CSU 3

No	Komponen	*Part*	Satuan	*Demand*
1	Control System, CMS (elektrik)	Control System	pcs	8
2	Cable Reel Medium Voltage (Elektrik)	Cable Drum ,limit switch	pcs	15
	Trolley System (Mekanik)	Karet Kopling	pcs	22
		Baut	set	16
		Guide Rell Wheel	pcs	6
		Pulley	pcs	3
		Sling	meter	11

ISBN 978-602-73461-8-5

3.7. Perhitungan *Economic Order Quantity (EOQ)* dan Total Biaya Invetory Komponen kritis *Craneship Unloader* no.3

3.7.1. *Economic Order Quantity*

Economic Order Quantity (*EOQ*) merupakan salah satu model manajemen persediaan, digunakan untuk menentukan kuantitas pemesanan persediaan yang optimal dan dapat meminimalkan biaya penyimpanan dan biaya pemesanan persediaan. Berikut ini merupakan perhitungan *Economic Order Quantity* (*EOQ*) pada komponen *Trolley,* karet kopling:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \; x \; D \; x \; S}{C \; \text{x} \; I}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \; x \; 22 \; x \; 100000}{450000 \; \text{x} \; 0{,}1}}$$

$Q^* = 9{,}888264649 \approx 10$ unit

Dengan diketahui:
D = Demand atau kebutuhan komponen karet kopling selama 1 tahun = 22 unit
C = Unit price atau biaya komponen = Rp 450.000
S = Biaya pemesanan = Rp 100.000
I = Fraction of holding cost = 10%

3.7.2. *Safety stock* dan *reorder point*

Agar kontinuitas dan kelancaran produksi tetap terjaga, maka untuk berjaga jaga perusahaan sebaiknya memiliki persediaan cadangan (*safety stock*). Berikut ini perhitungan *safety stock* dan *re-order point.*

$$SS = \frac{D}{\text{jumlah hari kerja setahun}} \; x \; L$$

$$SS = \frac{22}{365} \; x \; 30 = 1{,}808219178 \approx 2 \text{ unit}$$

$$ROP = 2 \; x \; \frac{D}{\text{jumlah hari kerja setahun}} \; x \; L$$

$$ROP = 2 \; x \; \frac{22}{365} \; x \; 30 = 3{,}616438356 \approx 4 \text{ unit}$$

Dengan diketahui:
D = Demand atau kebutuhan komponen selama 1 tahun = 22 unit

Hari kerja dalam 1 tahun adalah 365 hari dan L = Lead Time = 30 hari
Berikut ini merupakan hasil rekapitulasi dari perhitungan Q* serta *safety stock* dan *Reorder Point* untuk setiap *spare parts* komponen kritis *craneship unloader* no.3 yang dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi Q* serta Safety Stock dan Reorder Point spare part dari komponen kritis CSU 3

ISBN 978-602-73461-8-5

Komponen	*Part*	Q*	*Safety Stock*	*Reorder Point*
Control System (Elektrik)	Control System, CMS	4	1	2
Cable Reel Medium Voltage (Elektrik)	Cable Drum ,limit switch	3	2	3
Trolley System (Mekanik)	Karet Kopling	10	2	4
	Baut	15	2	3
	Guide Rel	2	1	1
	Wheel Pulley	2	1	1
	Sling	5	1	2

3.7.3. *Total Cost*

Berikut ini contoh perhitungan *total cost* dari komponen *Trolley,* karet kopling:

Total Cost = Ordering Cost + Holding Cost + Purchasing Cost

TC =[$S\,(\frac{D}{Q})$] + [$I.C\,(\frac{Q}{2})$] + ($D.C$)

TC = [100.000 ($\frac{22}{10}$)] + [0,1 x 450.000 ($\frac{10}{2}$)] + (22 x 450.000)

TC = 220.000 + 225.000 + 9.900.000

TC = Rp. 10.345.000

Tabel 10. Rekapitulasi hasil perhitungan *total cost* untuk setiap *spare parts* komponen kritis *craneship unloader* no.3

No	Komponen	Part	Demand	Ordering Cost(Rp)	Holding Cost(Rp)	Purchasing Cost(Rp)	Total Cost(Rp)
3	Trolley System (Mekanik)	Control System, CMS	8	200.000	266.680	10.667.200	11.133.880
		Cable Drum , limit switch	15	375.000	611.280	91.692.000	92.678.280
		Karet Kopling	22	220.000	225.000	9.900.000	10.345.000
		Baut	16	106.667	117.662	2.510.128	2.734.457
		Guide Rell	6	300.000	666.700	40.002.000	40.968.700
		Wheel Pulley	3	150.000	266.680	8.000.400	8.417.080
		Sling	11	220.000,00	333.350	14.667.400	15.220.750
Total Biaya Inventory							Rp.181.498.147

Berdasarkan hasil perhitungan untuk komponen *Trolley,* karet kopling didapatkan hasil lot pemesanan optimal sebesar 10 unit per sekali pesan. *Safety stock* yang harus disediakan sebesar 2 unit. *Re-order point* dilakukan ketika jumlah *spare part* di gudang tersisa 4 unit.

ISBN 978-602-73461-8-5

Total cost yang dikeluarkan untuk inventory komponen *Trolley,* karet kopling bagian boom sebesar Rp. 10.345.000. Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil perhitungan *total cost* untuk setiap *spare parts* komponen kritis *craneship unloader* no.3 dengan menggunakan metode *Economic Order Quantity(EOQ)* yang dapat dilihat pada tabel 10.

4. Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini untuk penentuan *craneship unloader* dan komponen kritis dengan menggunakan konsep diagram pareto didapat bahwa *craneship unloader* no tiga merupakan *craneship unloader* yang memiliki *breakdown* tertinggi dan komponen kritis pada *craneship unloader* tersebut untuk unit elektrik adalah *control system cms* dan *cable reel medium voltage* serta untuk unit mekanik adalah komponen *trolley system* bagian karet kopling, baut, *guide rell wheel, pulley, sling.* Penggantian yang dilakukan oleh perusahaan saat ini pada komponen kritis untuk unit elektrik komponen *control system cms* selama 2879 jam dan komponen *cable reel medium voltage* selama 1237,7 jam serta untuk unit mekanik pada komponen trolley system bagian (karet kopling, baut, *guide rell wheel, pulley, sling*) adalah selama 1151,1 jam, 1835,3 jam, 698,6 jam, 2329,4 jam, 1620,8 jam. Penggantian komponen yang optimal pada komponen kritis menggunakan *age replacement* untuk unit elektrik komponen *control system cms* selama 1967 jam dan komponen *cable reel medium voltage* selama 906 jam serta untuk unit mekanik pada komponen *trolley system* bagian (karet kopling, baut, *guide rell wheel*, *pulley, sling*) adalah selama 571 jam, 833 jam, 608 jam, 1747 jam, 1343 jam. Dengan menggunakan *poisson process* didapat *demand spare part* untuk unit elektrik selama setahun adalah 8 unit; 15 unit dan untuk unit mekanik selama setahun adalah (22 unit; 16 set; 6 unit; 3 unit; 11 meter). Total biaya *inventory* yang harus dikeluarkan adalah sebanyak Rp.181.498.147.

Daftar Pustaka

Andrew, J. 2006. *Maintenance, Replacement, and Reliability. Theory and Applications second edition. The Hong Kong Polytechnic University and the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada, Canada.*

Agustin W, dkk. 2011. *Aplikasi Optimal Preventive Replacement Age Model untuk Menentukan Jadwal Penggantian Komponen Dumping Grate pada Mesin Ketel Uap (Study Kasus di PG Rejo Agung Baru Madiun)*, Jurnal Teknologi Pertanian Vol.12 No.1, Hal. 49-57.

Dyah Mutiara S, dkk 2014. *Perencanaan Preventive Maintenance komponen cane cutter I dengan pendekatan age replacement (Studi Kasus di PG Kebon Agung Malang)*, Jurnal Teknik Industri. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya.

Ebeling, C. 1997. *An Introduction To Reliability And Maintanability Engineering.University Of Dayton, Dayton*.

Fukuda, J. 2008. SPARE PARTS STOCK LEVEL CALCULATION. (http://www.geocities.ws/riekonissi/spareparts.pdf) (Diakses pada 23:40 16 April 2017).

http://www.fem-eur.com/wp-content/uploads/2016/01/CLE-THC-Lifetime.pdf (Diakases pada 6:08 27 April 2017).

Jiwantoro, A.Y. 2014. Usulan Strategi Perawatan Dengan Mempertimbangkan Reliability Block Diagrram pada Mesin Crane Ship Unloader di PT.KBS. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Cilegon.

Kuntjojo. 2009. Metodologi Penelitian. Kediri.

Kusumo B, dkk. 2015. *Optimasi Preventive Maintenance Subsistem Kritis Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Dan Perhitungan Kebutuhan Spare Part*

ISBN 978-602-73461-8-5

Menggunakan Metode Assurance Level Di Unit 15 RCC PT PERTAMINA UP VI BALONGAN. Jurnal Teknik Industri. Telkom University.

Nuhman. 2016. *Usulan Penentuan Kebutuhan Spareparts mesin compressor berdasarkan reliability*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Cilegon.

Pati, R. 2016. *Analisa Perencanaan Pemeliharaan Mesin Pulverizer dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Cilegon.

Rosyidin I, dkk. 2015. *Penentuan Pengelolaan Suku Cadang Pada Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Air dengan Metode Reliability Centered Spares (RCS) dan Inventory Analysis di Divisi Pembangkitan Perum Jasa Tirta II*. Jurnal Teknik Industri. Telkom University.

Warshito, A. 2015. *Peralatan Kontrol dan Driver Motor Pada Crane PT. Krakatau Bandar Samudera*. Jurnal Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Semarang.

Zairi M. 1991. *Total Quality Management For Engineers. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, England.*

ISBN 978-602-73461-8-5

Analisis *Reliability* Sistem dengan *Reliability Block Diagram* pada PT. X

Rifda Ilahy Rosihan, Hari Agung Yuniarto
Program Studi Magister Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No.2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281
Telp. (0274)521673
Email: rifdailahy.r@gmail.com

Intisari

Rendahnya reliability suatu sistem dapat mengakibatkan timbulnya downtime. Sedangkan rendahnya availability dapat mengakibatkan turunnya performance dari suatu sistem karena banyaknya waste time. Sistem extrussion pada PT. X berbentuk countinous process, apabila salah satu komponen pada mesin mengalami kerusakan akan menyebabkan terhentinya proses. Terdapat lima belas mesin yang tersusun secara seri pada proses extrussion, yakni uncoiler, welding, looping,extruder 90. Extruder 70, microwave 1,microwave 2, oven 1, oven 2,oven 3, cooling batch, breaking, bending, pulling, dan cutting. Sistem extrussion digambarkan dalam diagram Reliability Block Diagram. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah memodelkan sistem dengan menggunakan metode Reliability Block Diagram, mengetahui reliability dari keseluruhan sistem, dan mengetahui critically equipment. Data yang diolah merupakan data kerusakan mesin dari tahun 2006-2017, kemudian data tersebut diolah untuk menentukan reliability dari masing-masing komponen. Software yang digunakan adalah Software Reliasoft Blocksim 11. Hasil dari penelitian ini adalah nilai reliability sistem 0,431407 dengan t 100 jam.

Kata kunci: *Availability, Reliability, Reliability Analysis, Reliability Block Diagram, Reliasoft Blocksim*

1. Pendahuluan

Kinerja (*performance*) dari suatu mesin/peralatan bergantung pada *reliability* dan *availability,* peralatan yang digunakan, proses operasi dan keahlian operator dalam menjalankan mesin, dan lain – lain. Apabila *reliability* dan *availability* rendah, maka *performance* dari sistem tersebut rendah. Untuk meningkatkan nilai *reliability* dan *availability* dilakukan penurunan laju kegagalan atau meningkatkan efektivitas perbaikan dari masing – masing komponen. Ukuran *reliability* dan *availability* dapat dinyatakan sebagai seberapa besar kemungkinan suatu sistem tidak akan mengalami kegagalan dalam waktu tertentu, seberapa lama suatu sistem akan beroperasi dalam waktu tertentu, dan berapa cepat waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan kondisi sistem dari kegagalan yang terjadi (Yuhelson, 2010). *Reliability* dan *availability* merupakan salah satu hal penting dalam kelangsungan hidup perusahaan. Adanya *downtime* seringkali menyebabkan kerugian, baik pada perusahaan maupun lingkungan sekitar. *Downtime* terjadi dikarenakan adanya *failure* pada peralatan sehingga sistem tidak berjalan dengan optimal (Soleimani *et.al*, 2014). Timbulnya *downtime* pada sistem disebabkan oleh *failure* pada komponen sehingga sistem tidak berjalan dengan semestinya. Oleh karena itu diperlukan analisa *reliability* untuk meningkatkan *performance* sistem untuk mencegah timbulnya kegagalan yang tidak diprediksi, *unavailable* komponen, dan *shutdown* secara tiba-tiba.

Penentuan komponen kritis pada sistem dapat dilakukan dengan menggunakan FMEA, seperti yang telah dilakukan oleh Dewangan, *et.al* (2014) dimana komponen yang

ISBN 978-602-73461-8-5

memiliki nilai *critical index* lebih dari enam maka akan masuk ke dalam komponen kritis. Selain dengan pendekatan FMEA, penentuan komponen kritis dapat pula dilakukan dengan pendekatan *Reliability Block Diagram* dengan penentuan *Reliability Importance* untuk mendapatkan komponen yang memiliki pengaruh dalam penentuan nilai *reliability* yang rendah.

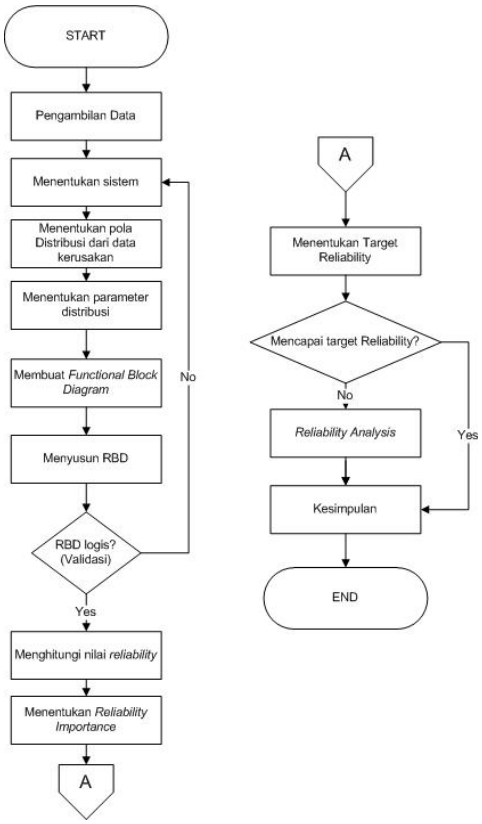
Reliability Block Diagram (RBD) adalah teknik analisis grafis yang menunjukkan bagaimana keandalan komponen berkontribusi terhadap keberhasilan atau kegagalan sistem yang kompleks. RBD digambarkan pada sebuah rangkaian blok yang dihubungkan secara seri atau paralel. Masing-masing blok mewakili sistem atau komponen dengan tingkat kegagalannya masing-masing, dimana rangkaian seri menyatakan logika "*and*" sehingga apabila satu komponen atau sistem gagal maka seluruh sistem akan gagal. Sebaliknya pada rangkaian paralel baru akan mengalami kegagalan apabila seluruh sistem atau komponen gagal (Mokhtar, *et.al.,* 2011). RBD mengambarkan keterkaitan antara sistem, sub-sistem, dan komponen. Gambaran sistem dengan menggunakan RBD memudahkan dalam menunjukkan komponen atau sub-sistem mana yang memiliki pengaruh besar pada nilai *reliability* sistem. Dalam memodelkan RBD terdapat berbagai macam metode, yakni *analythical* dan *simulation.* Menurut Kumar, *et.al* (2013) *analythical method* menggunakan formulasi *mathematical* yang kompleks sehingga untuk model sistem yang besar dan komplek jarang digunakan. Salah satu *tools* atau pendekatan *simulation* pada pemodelan RBD adalah *Reliasoft Blocksim. Software Reliasoft Blocksim* mampu memodelkan, menganalisis, sampai mensimulasikan model RBD. *Software Reliasoft Blocksim* menampilkan gambaran grafis yang *fleksibel* yang mendukung beragam konfigurasi dari RBD, yakni *reliability, maintainability, availability,* dan *resources allocation* (Rajput dan Vaishali, 2015). *Software Reliasoft Blocksim* dapat menggambarkan blok – blok menjadi sebuah *Reliability Block Diagram* (RBD) untuk mewakili keseluruhan sistem dan menganalisa diagram untuk menentukan fungsi keandalan keseluruhan sistem. Selanjutnya *Software Reliasoft Blocksim* dapat menentukan komponen kritis beserta indeks kekritisannya. *Software Reliasoft Blocksim* dapat digunakan untuk membuat perhitungan statistik dan membuat plot, untuk melakukan analisis "*what-if*" dan untuk menentukan optimalisasi keandalan sistem yang kita tentukan (Sunderam, *et.al*, 2011).

PT. X yang merupakan anak perusahaan dari perusahaan *otomotif* yang menyediakan *spare part*. PT. X berusaha menjaga hubungan baik dengan perusahaan ini dan berusahaa bersaing dengan supplier – supplier lain sehingga PT. X berusaha meningkatkan performa dari perusahaan. PT. X merupakan salah satu anak perusahaan yang memiliki *spesialisasi* pada proses *extrussion.* Proses *extrussion* merupakan proses awal dan proses inti pada proses produksi. Selama ini perhitungan yang dilakukan oleh perusahaan adalah perhitungan efektivitas mesin dalam memproduksi produk, sedangkan untuk perhitungan *availability* pada mesin, *reliability* mesin belum dilakukan sehingga timbulnya *downtime* mesin sering kali terjadi. Adanya *downtime* mesin pada proses mengakibatkan adanya penurunan *performance* dari mesin dan meningkatkan *line stop* pada proses sehingga perusahaan tidak mampu memenuhi keinginan konsumen. Pada saat ini PT. X menerapkan penjadwalan *preventive maintenance* selama sebulan sekali dengan melakukan pengecekan seperti *noise* pada mesin, *abnormal temperature, abnormal pressure,* dan lain-lain. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk menghitung nilai *reliability* pada mesin pada proses *extrussion* guna mengurangi adanya kerusakan, meningkatkan *reliability* mesin, dan *availability.* Tujuan dari penelitian ini adalah membangun *reliability block diagram* untuk proses *extrussion* dengan menggunakan *software Reliasoft Blocksim.*

ISBN 978-602-73461-8-5

2. Metode

Objek penelitian ini adalah proses *extrussion* pada *rubber line* satu di PT. X. *Software* yang digunakan adalah *software Reliasoft Blocksim* untuk memodelkan *Reliability Block Diagram* (RBD) dari sistem yang berjalan pada perusahaan. Gambaran dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.

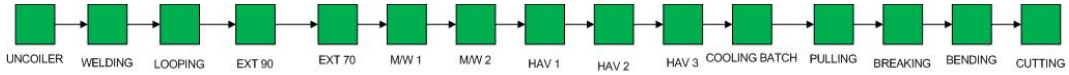


Gambar 1. Diagram alur penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 *Reliability Block Diagram* (RBD)

Reliability Block Diagram (RBD) adalah analisis keandalan dan *availability* dari suatu sistem, untuk sistem besar dan kompleks dengan menggunakan diagram blok untuk menunjukkan hubungan antar sistem. RBD mendefinisikan interaksi logis kegagalan dalam sistem yang diperlukan untuk mempertahankan operasi sistem. Diagram hanya berisi satu input dan satu output. Sistem RBD dihubungkan oleh konfigurasi paralel atau seri. Pada proses *extrussion,* keterkaitan antar mesin digambarkan dalam bentuk seri jadi, jika salah satu mesin mengalami kegagalan maka seluruh sistem akan berhenti. *Reliability Block Diagram* untuk proses *extrussion* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 *Reliability Block Diagram* proses *extrussion* pada *rubber line* satu

ISBN 978-602-73461-8-5

Setelah memodelkan *Reliability Block Diagram* maka dapat dilakukan perhitungan *reliability*. Perhitungan *reliability* ini menggunakan *software Reliasoft Blocksim*. Sebelum menentukan nilai *reliability* terlebih dahulu menentukan distribusi dan parameter distribusi untuk masing-masing mesin. Distribusi dan Parameter Distribusi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi dan parameter distribusi untuk masing-masing mesin

Mesin	Distribusi	Beta	Eta	Mean Time	Gamma
Pulling	Weibull 2P	0,698	3877,933		
Looping	Weibull 2P	0,76	3321,329		
EXT 70	Exponential 1P			1723,609	
EXT 90	Weibull 2P	0,809	1457,566		
HAV 1	Weibull 2P	1,248	2908,919		
HAV 2	Weibull 2P	1,085	2442,161		
HAV 3	Exponential 2P			2520,005	155,059
M/W 1	Weibull 2P	0,74	1856,761		
M/W 2	Weibull 2P	0,805	1364,895		
Cutting	Weibull 2P	0,921	2151,06		
Breaking	Weibull 2P	0,888	3299,231		
Bending	Exponential 2P			2540,828	300,446
Cooling Batch	Weibull 2P	0,526	4635,116		

Dari masing-masing distribusi yang dimiliki oleh masing-masing mesin, kemudian dilakukan perhitungan nilai *reliability* pada masing-masing mesin. Nilai *reliability* ini merupakan ukuran *probabilitas* mesin berjalan sesuai dengan fungsinya. Hasil untuk nilai *reliability* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai *reliability*

Block Name	*Reliability* (100)
Looping	0,932588
Ext 70	0,943633
Ext 90	0,891733
Cooling Batch	0,875519
M_W 1	0,891246
M_W 2	0,88508
Hav 1	0,985202
Hav 2	0,969265
Pulling	0,925063
Breaking	0,956101
Cutting	0,942479

Dari Tabel 2 diketahui bahwa nilai *reliability* untuk masing-masing mesin memiliki nilai di atas 85% artinya bahwa mesin mampu berjalans sesuai dengan fungsinya sebesar

ISBN 978-602-73461-8-5

85%, misal *cooling batch* memiliki nilai *reliability* 0,875 atau 87,5% artinya bahwa mesin *cooling batch* berjalan sesuai dengan fungsinya sebesar 87% sisanya dianggap *failure.* Namun karena sistem disusun secara seri maka hal tersebut mengakibatkan nilai *reliability system* rendah yaitu 43%. Sistem yang disusun dengan seri memiliki arti bahwa apabila satu mesin mengalami kegagalan maka seluruh sistem akan berhenti beroperasi sehingga mesin yang seharusnya tidak *failure* akan ikut berhenti dan mengakibatkan proses tidak mampu berjalan sebagai mestinya.

3.2 *Reliability analysis*

Untuk mencapai nilai *reliability system* yang ditarget kan maka sebelumnya diketahui terlebih dahulu mengenai mesin mana yang akan dinaikkan keandalannya berdasarkan tingkat kekritisan, kesulitan dalan pelaksanaan dan biaya yang paling optimum. Untuk menentukan hal tersebut perlu dilakukan *reliability allocation* untuk menemukan komponen yang perlu ditingkatkan nilai *reliability* nya berdasarkan beberapa faktor, seperti faktor biaya, *reliability importance,* dan kesulitan dalam pelaksanaan. *Reliability allocation* pada sistem *extrussion,* dihitung dengan menggunakan *software Blocksim 11.* Hasil untuk *reliability allocation* untuk sistem *extrussion* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. *Reliability allocation* sistem *extrussion* pada masing-masing mesin selama 100 jam

RBD1 (Cost Optimized)						
Block Name	Max. Achievable Reliability	Feasibility	RI (100)	Reliability (100)	Target Reliability (100)	Equivalent Parallel Units *
LOOPING	1	Easy (1)	0,462591	0,932588	0,985593	1,572167
EXT 70	1	Easy (1)	0,457177	0,943633	0,987033	1,510976
Block Name	Max. Achievable Reliability	Feasibility	RI (100)	Reliability (100)	Target Reliability (100)	Equivalent Parallel Units *
EXT 90	1	Easy (1)	0,483785	0,891733	0,98087	1,779685
COOLING BATCH	1	Easy (1)	0,492745	0,875519	0,979177	1,858171
M_W 1	1	Easy (1)	0,48405	0,891246	0,980818	1,782061
M_W 2	1	Easy (1)	0,487422	0,88508	0,980166	1,812021
HAV 1	1	Easy (1)	0,437887	0,985202	0,993939	1,211859
HAV 2	1	Easy (1)	0,445087	0,969265	0,990866	1,34845
PULLING	1	Easy (1)	0,466354	0,925063	0,98466	1,612167
BREAKING	1	Easy (1)	0,451215	0,956101	0,988791	1,436725
CUTTING	1	Easy (1)	0,457737	0,942479	0,986878	1,517537

Tabel 3 menunjukkan *reliability, reliability importance* pada masing-masing mesin. Untuk mengetahui mesin mana yang memiliki penggaruh pada pencapaian *reliability system* 43% dapat dilihat dari nilai *reliability importance* atau RI yang tinggi. Seperti mesin *cooling batch* memiliki nilai RI 0,492745 atau 49% artinya bahwa mesin *cooling batch* memberikan sekitar 49% pada sistem sehingga sistem memiliki nilai *reliability* 43%.

ISBN 978-602-73461-8-5

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah *Availability* dan *reliability* mesin saling berkaitan, apabila *availability* tinggi belum tentu *reliability* tinggi. Namun apabila *reliability* mesin tinggi maka *availability* tinggi. *Reliability block diagram* merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan *reliability* sistem secara menyeluruh. Salah satu *software* yang dapat digunakan untuk memodelkan *reliability block diagram,* mengetahui *reliability allocation,* dan sekaligus dapat mensimulasikan model adalah *software Reliasoft Blocksim. Reliability* pada sistem adalah 0,43 atau 43% dalam rentan waktu 100 jam. Saran untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat membuat perbandingan pada lini *extrussion* yang lain sehingga kelihatan perbandingan untuk masing-masing *reliability* nya.

Daftar Pustaka

Dewangan, D.N., Jha, M. K., dan Banjare, Y.P., 2014. Reliability Investigation of Steam Turbine Used In Thermal Power Plant. *International Journal of Innovative Research in Engineering and Technology*, Vol. 3, Issue 7.

ITEM Software. 2007. *Reliability Block Diagram.* ITEM Software, Inc.

Jardine, AKS. 1973. *Replacement and Reliability.* London: Pitman Publishing.

Kumar, G., Jain, V., dan Gandhi, O.P., 2013. Availability Analysis of Reliable Mechanical System Using Analythical Semi-Markov Approach. *Quality Engineering*. 25:2, 97-107, DOI: 10.1080/08982112.2012.751606.

Mokhtar, A. A., Masdi, M., Hussin, H., dan Majid, M. A. A., 2011. Development of a RAM Simulation Model for Acid Gas Removal System. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering.* Vol. 5 No. 12.

Rajput, B. S., dan Vaishali, C. 2015. UML based Approach for System Reliability Assessment. *International Journal of Computer Applications*, Vol.131, No. 2, 0975-8887.

Reliasoft Software. 2017. BlockSim: *System Reliability and Maintainability Analysis Software Tool*. http://www.reliasoft.com/BlockSim/. 14 Desember 2017 (14:30).

Reliasoft. 2016. *Quick Start Guide Blocksim Version 10.* USA; Reliasoft Corporation

Reliasoft. 2016. *Quick Start Guide Blocksim Version 10.* USA; Reliasoft Corporation

Soleimani, M., Mohammad Pourgol-Mohammad, Rostami, A., dan Ghanbari, A., 2014. Design for Reliability of Complex System with Limited Failure Data; Case Study of a Horizontal Drilling Equipment. *International Journal of Quality and Reliability Engineering*.

Sunderam J., G., dan Mohan M., R. 2011. Integrated System- Reliability Analysis for Wind Turbine. *International Journal of Production Technology and Management Research,* Vol 2, No. 1.

Yuhelson, Syam, B., Sinullingga, S., dan Isranuri, I. 2010. Analisis Reliability dan Availability Mesin Pabrik Kelapa Sawit PT. Perkebunan Nusantara 3. Jurnal Dinamis, Vol. 11, No. 6.

ISBN 978-602-73461-8-5

Evaluasi Manajemen Risiko Sistem Rantai Dingin pada Industri Es Kristal (Sebuah Studi Kasus)

Siti Febrianti Tafnar, Prima Denny Sentia, Nur Izzaty
Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tengku Syech Abdurauf No.7, Darussalam, Syiah Kuala, Banda Aceh, Aceh 23111
Telp.+62651755129
E-mail: sitifebriantitafnar@gmail.com

Intisari

PT. XYZ merupakan perusahaan yang memiliki permintaan es kristal yang cukup banyak, sehingga diperlukan pengelolaan rantai pasok dingin dengan baik. Rantai pasok dingin merupakan suatu aliran rantai pasok dari hulu ke hilir yang mempertimbangkan keadaan atau kondisi suhu. Pada proses rantai pasok ditemui berbagai risiko yang dapat mempengaruhi aliran rantai pasok tidak berjalan lancar. Untuk mengurangi hal tersebut terjadi diperlukan upaya perbaikan secara terus menerus dengan mengatasi atau mengurangi risiko yang terjadi. Tujuan penelitian ini adalah memitigasi risiko yang terjadi berdasarkan pemetaan aktivitas yang ada diperusahaan dan membuat skenario mitigasi. Metode yang digunakan untuk memetakan aktivitas sesuai dengan kondisi diperusahaan yaitu Supply Chain Operation Risk, untuk mengevaluasi dan memitigasi risiko prioritas yang tinggi dengan metode House Of Risk fase pertama dan kedua, dan pembuatan skenario dengan menggunakan Logika Fuzzy. Pemetaan yang dilakukan diperusahaan terdapat 12 aktivitas rantai pasok, dan hasil dari evaluasi risiko menggunakan metode House Of Risk fase 1 risiko yang harus dimitigasi sebanyak 3 risiko dari 34 risiko yang ada. Dari permasalahan tersebut dicari penyebab risiko dan mitigasi terhadap risiko tersebut dengan menggunakan House Of Risk fase 2 diperoleh alternatif risiko sebanyak 18 alternatif yang kemudian akan dipilih alternatif yang terbaik sehingga dibuat skenario dengan menggunakan logika fuzzy sebanyak 125 rules.

Kata kunci: House Of Risk, Logika Fuzzy, Rantai Dingin, Supply Chain Operation Risk.

1. Pendahuluan

Pengelolaan rantai pasok tidaklah mudah karena banyak melibatkan berbagai pihak didalam perusahaan maupun diluar perusahaan sehingga banyak terjadi risiko ketidakpastian Rantai pasok memerlukan koordinasi dan kolaborasi antar perusahaan, karena dengan adanya kerja sama dengan elemen-elemen pada rantai pasok tujuan tersebut akan tercapai sehingga memuaskan konsumen akhir, mengirimkan produk tersebut tepat waktu, dan dengan kualitas yang bagus (Pujawan dan Er, 2010). Pada saat sekarang ini, rantai pasok juga dikenal dengan rantai dingin ini bertujuan untuk menjaga temperatur agar produk tetap terjaga selama proses pengumpulan, pengolahan, dan distribusi komoditas hingga ke tangan konsumen, sedangkan manajemen rantai dingin adalah seluruh aktivitas rantai pendingin yang dianalisis, diukur, dikontrol, didokumentasikan, dan divalidasi agar berjalan secara efektif dan efisien baik secara teknis dan ekonomis (Simatupang, 2016).

Untuk menghindari berbagai risiko yang terjadi pada rantai dingin diperlukan manajemen risiko pada perusahaan. Ide dasar manajemen rantai pasok adalah menerapkan pendekatan total sistem untuk pengelolaan informasi, material, dan *service* dari pemasok

ISBN 978-602-73461-8-5

bahan baku sampai proses produksi dipabrik dan pergudangan sampai distribusi ke pelanggan (Zaroni, 2017).

House of Risk terdiri dari dua fase, pertama yaitu mengidentifikasi permasalahan sedangkan fase kedua digunakan untuk menentukan tindakan pertama yang dilakukan dari permasalahan yang terjadi. Metode *House Of Risk* ini telah banyak dilakukan penelitian yang membuktikan bahwa Metode *House Of Risk* dapat digunakan untuk mengidentifikasi, penilaian dan mengevaluasi risiko yang digunakan untuk mengurangi risiko yang terjadi (Ulfah dkk, 2016; Tampubolon dkk, 2013; Dewi dkk, 2015; Anggrahini dkk, 2015; Pujawan dan Geraldin, 2009). Dan metode *logika fuzzy* merupakan metode yang digunakan untuk pengaplikasian keputusan. Menurut Kusumadewi dan Purnomo, (2010), Logika fuzzy digunakan sebagai suatu cara untuk memetakan permasalahan dari *input* menuju *output*. Metode logika fuzzy ini telah banyak juga dilakukan penelitian membuktikan bahwa dengan pendekatan logika fuzzy dapat memitigasi risiko dan memetakan permasalahan sebagai pecegahan dan penanggulangan dari risiko yang terjadi (Jaya dkk, 2014; Cordova et al, 2017; Aqlan dan Lam, 2015).

PT. XYZ merupakan salah satu perusahaan rantai pasok dingin yang memproduksi es kristal di Banda Aceh dan sekitarnya yang memiliki permintaan es kristal yang cukup banyak, sehingga diperlukan pengelolaan rantai pasok dingin dengan baik. Hal ini membuat PT. XYZ diharuskan memiliki rantai pasok dingin dengan baik untuk menjaga suhu es kristal dengan baik sampai ke tangan konsumen. Oleh sebab itu, untuk mengurangi risiko yang terjadi pada rantai dingin es kristal maka diperlukan evaluasi manajemen untuk mengurangi terjadimya risiko.

2. Metode

Adapun langkah-langkah pada penelitian yang dilakukan untuk evaluasi manajemen risiko sistem rantai dingin yaitu:

1. Pemetaaan aktivitas rantai pasok
   Pemetaan aktivitas rantai pasok dibuat berdasarkan aktivitas rantai pasok yang ada diperusahaan.
2. Identifikasi dan klasifikasi risiko
   Identifikasi risiko dilakukan berdasarkan studi literatur dimana pada studi literatur terdapat 53 risiko yang kemudian risiko tersebut disesuaikan dengan kondisi risiko yang pernah terjadi diperusahaan.
3. Perancangan risiko dan penyebaran kuesioner ke responden
   Perancangan risiko diperoleh dari studi literatur yang merujuk kepada penelitian yang memiliki kuesioner *House of Risk*. Risiko yang telah teridentifikasi akan dikembangkan dalam bentuk pertanyaan dan akan disebarkan ke beberapa pihak diperusahaan.
4. Penentuan nilai *severity, occurance*, dan *correlation.*
   Penilaian risiko didasarkan dari penentuan nilai pembobotan dengan menetapkan nialai 0-10 tergantung dari sebarapa besar kemnungkinan risiko yang timbul.
5. Penentuan nilai risiko dengan *Aggregate Risk Potential* (ARP)
   Setelah melakukan pengelompokkan berdasarkan tiga penilaian yaitu *severity, occurance, dan correlation*. Tahap selanjutnya adalah mengakumulasikan hasil perolehan angka tersebut dengan menggunakan perhitungan *Aggragate Risk Potential* (ARP).

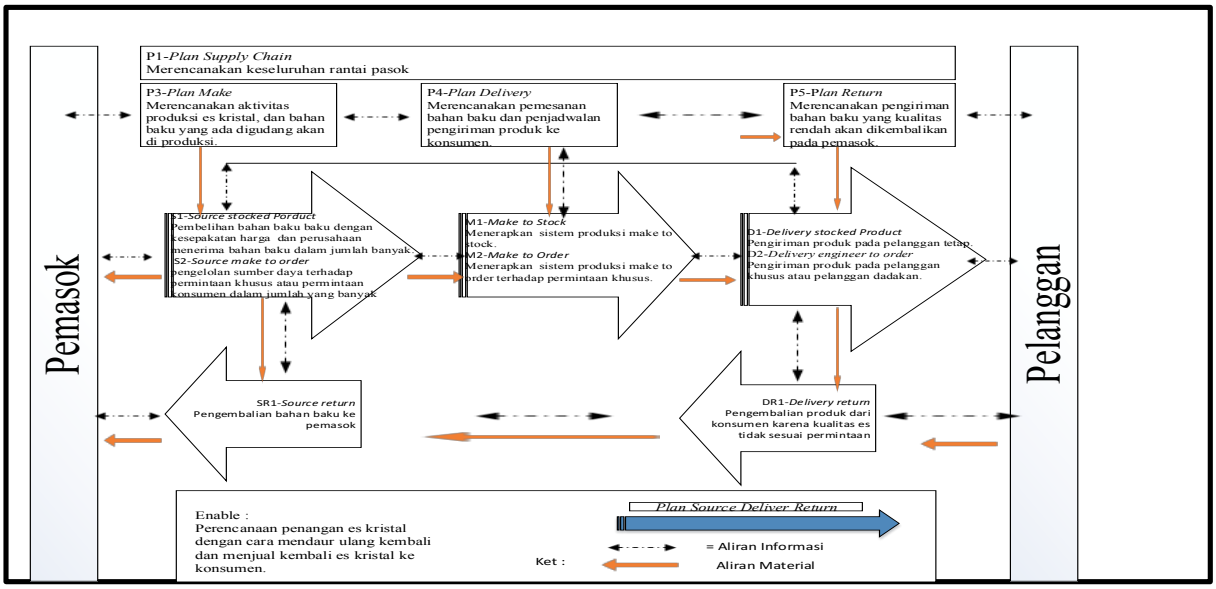
ISBN 978-602-73461-8-5

6. Evaluasi Risiko
   Pada tahap ini merupakan evaluasi kejadian risiko yaitu mengetahui agen risiko mana yang akan di beri penanganan dengan menggunakan diagram pareto.
7. Penyusunan skenario dengan menggunakan metode mamdani.
   Pembuatan skenario dilakukan dengan menggunakan metode mamdani untuk mendapatkan skenario *output* skenario yang dibuat.
8. Pemilihan skenario
   Pemilihan skenario ini diperoleh setelah melakukan penyusunan skanario berdasarkan variabel risiko himpunan fuzzy dan parameter yang ada. Pemilihan skenario merupakan gambaran untuk mengurangi risiko kedepannya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pemetaan aktivitas rantai pasok

Pemetaan rantai pasok dilakukan dengan memahami alur proses produksi di PT. XYZ dengan melakukan wawancara dan observasi aktivitas rantai pasok di perusahaan. Pemetaan aktivitas rantai pasok dilakukan dengan menggunakan metode SCOR Level 1. Pada level ini terdapat lima tahapan yaitu *plan, source, make, delivery* dan *return*. Berikut ini adalah pengelompokan kode SCOR Level 1 pada aktivitas rantai pasok es kristal yang diperoleh yaitu *plan supply chain, plan make, plan delivery, plan return, source stocked product, source make to order, delivery stocked product, delivery engineer to order, source delivery*, dan *delivery return*. Berikut ini merupakan aktivitas rantai pasok pada PT. XYZ pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Alur aktivitas rantai pasok es kristal

Gambar 3.1 menjelaskan alur aktivitas yang ada diperusahaan PT.XYZ mulai dari pemasok sampai ketangan konsumen yang dibuat berdasarkan scor level 1.

ISBN 978-602-73461-8-5

3.2 Identifikasi risiko

Identifikasi risiko berdasarkan studi literatur dimana pada studi literatur terdapat 53 risiko akan diidentifikasi ke perusahaan sesuai dengan risiko yang pernah terjadi diperusahaan dengan pengamatan langsung dan wawancara kepada karyawan. Hasil dari masing-masing identifikasi yang terjadi baik itu penyebab maupun risiko akan dijadikan pertanyaan dalam bentuk kuesioner yang akan disebar kepada responden untuk melihat risiko apa yang akan sangat mengganggu proses rantai pasok es kristal.

3.3 Pengelompokan tipe risiko dan penyebab risiko

Risiko-risiko yang telah teridentifikasi berdasarkan SCOR level 1 akan dilakukan pengkodean terhadap masing-masing risiko.

Tabel 3.1 Risiko yang teridentifikasi

Risk Event (Variabel Risiko)	Kode
Kekurangan bahan baku kantong plastik, tawar, dan glukulen.	E1
Permintaan es fluktuatif	E2
Fluktuatif produksi es kristal	E3
Ongkos pengiriman naik	E4
Permintaan es kristal menurun	E5
Perusahaan kurang memperhatikan risiko yang terjadi	E6
Faktor alam	E7
Reject bahan baku plastik dari *supplier*	E8
Kedatangan bahan baku kantong terlambat	E9
Bahan baku yang dikirm tidak sesuai dengan permintaan	E10
Listrik mati	E11
Pabrik kotor dan berantakan	E12
Kesalahan packaging es kristal	E13
Penundaan proses produksi	E14
Kerusakan alat	E15
Cacat produk pada es kristal	E16
Kemasan kantong plastik bocor	E17
Tugas karyawan *double*	E18
Human errors	E19
Tanggung jawab pekerja kurang	E20
Pompa air menjadi panas	E21
Penyaringan tidak efisien	E22
Korosi pada alat	E23
Kehadiran bakteri pada proses pembuatan es kristal.	E24
Kekurangan bahan baku	E1
Kualitas es kristal menurun atau berubah	E26
kecelakaan pada proses distribusi	E27
Rusaknya produk es kristal pada saat pengiriman	E28
Kekurangan produk saat distribusi	E29
Kekurangan kendaraan pada proses distribusi	E30
Tidak dilakukan pencacatan es kristal pada saat dimasukkan ke dalam mobil	E31
Kepadatan lalu lintas	E32
Kualitas es kristal tidak sesuai dengan permintaan konsumen	E33
Pengembalian es kristal yang tidak memenuhi standar	E34

Berdasarkan identifikasi risiko diperoleh penyebab risiko terjadi. Berikut ini merupakan Tabel 3.2 yang menunjukkan penyebab risiko yang terjadi.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 3.2 Penyebab risiko berdasarkan SCOR level 1

Risk Agent (Penyebab Risiko)	Kode
Pasokan dari supplier kurang	A1
Musim libur mahasiswa/hari libur	A2
Permintaan yang mendadak dari konsumen	A3
Bahan bakar naik	A4
Adanya produk pesaing es kristal	A5
Perusahaan tidak memiliki manajemen yang baik	A6
Cuaca tidak menentu	A7
Cacat terhadap bahan baku plastik	A8
Pemasok terlambat mengirim bahan baku	A9
Komunikasi dengan supplier buruk	A10
Pasokan listrik terhenti dari pemasok	A11
Bahan baku berceceran	A12
Kurang terampil pekerja	A13
Kerusakan mesin/alat	A14
Kurangnya perawatan terhadap alat	A15
Terjadi penumpukan terlalu lama	A16
Kualitas kantong plastik tidak bagus	A17
Kurang karyawan	A18
Tidak adanya pelatihan dan mentoring	A19
Tidak disiplin pekerja	A20
Pompa dipakai secara terus menerus	A21
Kerusakan filter	A22
Udara yang lembab	A23
Proses sterilisasi tangka kurang efektif	A24
Jalanan yang padat lalu lintas	A25
Proses pendinginan kurang optimum	A26
Supir tidak berhati-hati	A27
Gangguan selama diperjalanan	A28
Kapasitas box tidak mencukupi	A29
Banyak kendaraan yang tidak berfungsi	A30
Arsip pembukuan tidak ada	A31
Hari libur	A32
Rusaknya produk es kristal	A33
Tidak sesuai dengan permintaan konsumen	A34

3.3 Penilaian risiko

Penilaian risiko dilakukan dengan menggunakan metode *house of risk*. dimana penilaian analisa risiko dilakukan untuk mendapatkan nilai ARP (*Agregat Risk Priority*) yang diperoleh berdasarkan hasil dari *severity, occurance* dan *correlation.* Berikut adalah perolehan penilaian yang sebelumnya telah diberi penilaian oleh beberapa karyawan yang berhubungan dengan kuesioner. *Severity* adalah langkah pertama untuk menganalisa risiko yaitu menghitung seberapa besar dampak atau intensitas kejadian mempengaruhi proses operasional. *Severity* menggunakan skala 1 sampai dengan 10 dengan memiliki kriteria yang berbeda-beda. *Occurrence* adalah kemungkinan bahwa risiko tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama proses operasional.

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 3.3 Penilaian *severity dan occurance*

Kode	*Severity*	*Occurance*
E1	7	3
E2	6	5
E3	5	6
E4	6	5
E5	7	7
E6	7	7
E7	6	5
E8	5	7
E9	7	3
E10	7	4
E11	7	5
E12	5	6
E13	6	4
E14	6	6
E15	8	5
E16	7	5
E17	8	5
E18	5	6
E19	6	3
E20	6	6
E21	7	7
E22	7	4
E23	7	4
E24	8	4
E25	8	5
E26	7	3
E27	8	3
E28	7	4
E29	7	7
E30	7	6
E31	6	7
E32	7	4
E33	8	7
E34	6	5

ISBN 978-602-73461-8-5

Selanjutnya penilaian *Correlation* merupakan *rating* hubungan antara risiko terjadi (*risk event*) dengan sumber risiko (*risk agent*). Berikut adalah Tabel 3.4 yang menunjukkan beberapa contoh hasil penilaian *correlation,* dimana kuesioner ini hanya disebar kepada manajer perusahaan yang mengerti hubungan antar risiko yang terjadi.

Tabel 3.4 Penilaian *correlation*

Kode	Risk Event	Risk Agent	Pasokan dari supplier kurang	Musim libur mahasiswa/hari libur	Permintaan yang mendadak dari konsumen
			A1	A2	A3
E1	Kekurangan bahan baku		9		3
E2	Permintaan es fluktuatif		3	9	9
E3	Fluktuatif produksi es kristal		9	9	9

Tahapan dalam membuat *correlation* yaitu dengan dengan memberikan penilaian hubungan dengan nilai 0 artinya tidak ada korelasi, 1 nilai korelasi lemah, 3 nilai korelasi sedang, dan 9 nilai korelasi tinggi.

3.4 *Agregate Risk Priority* (ARP)

Nilai ARP dapat diperoleh dengan cara perkalian antara probabilitas dari penyebab risiko dengan aggegate dampak dari kejadian risiko. setelah memproleh nilai ARP, kemudian diperoleh nilai risiko yang tertinggi sampai yang keterendah. nilai ARP: Berikut ini perhitungan nilai ARP, untuk ARP1 :

ARPj = Oj Σ_{i-1}^{n} Si $\times$ Rij

ARP1= O_1 [(($S_1 \times R_1$) + ($S_2 \times R_2$) + ($S_6 \times R_6$) + ($S_9 \times R_9$) + ($S_{10} \times R_{10}$) + ($S_{14} \times R_{14}$))]

= 5×[(9 × 7) + (3 × 6)+ (3 × 7) + (3 × 7) + (9 × 7) + (9 × 6))]

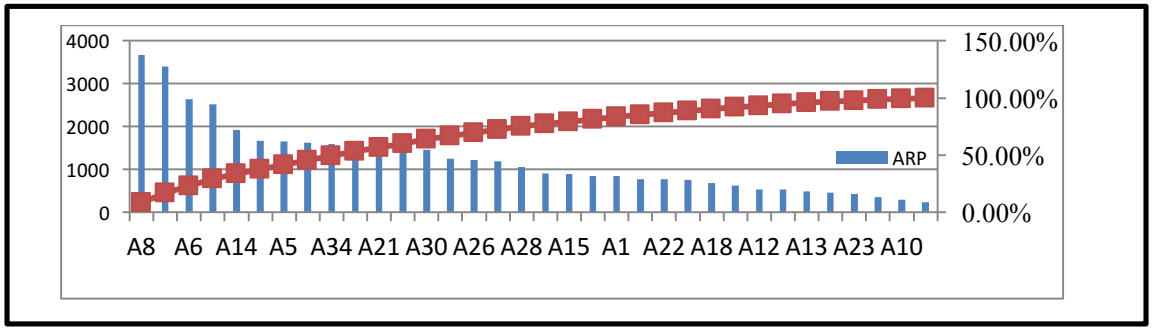
= 855

Sehingga nilai ARP1 yaitu 855. Perhitungan nilai ARP dengan cara perkalian antara probabilitas dari penyebab risiko dengan agregat dampak dari kejadian risiko. setelah diperoleh nilai risiko tersebut kemudian diurutkan berdasarkan nilai terbesar sampai dengan terkecil.

ISBN 978-602-73461-8-5

3.5 Evaluasi risiko

Tahap evaluasi dilakukan setelah perhitungan nilai ARP, selanjutnya adalah menggambarkan hasil nilai ARP untuk setiap agen risiko kedalam diagram pareto. Berikut ini adalah gambar diagram pareto risiko sistem rantai dingin.



Gambar 3.2 Diagram pareto nilai ARP risiko

Penggambaran diagram pareto tersebut bertujuan untuk menentukan agen risiko mana yang akan diprioritaskan untuk ditangani. Prinsip pareto yaitu 80/20 yang menggambarkan bahwa 80% kejadian risiko yang muncul berasal dari 20% penyebab risiko. Diagram pareto akan ditentukan agen risiko yang terpilih yang termasuk dalam 20% penyebab utama munculnya kejadian risiko yang terjadi. Dari diagram pareto terdapat 8 risiko terpilih yang dimitigasi dari 34 total risiko keseluruhan yaitu A8, A33, A6, hal ini karena ketiga risiko memilki nilai comulative persentase dibawah 20 %. Tahap selanjutnya 3 risiko tersebut akan dimitigasi dengan metode house of risk fase kedua.

3.6 Alternatif risiko

. Alternatif risiko dibuat untuk mengantisipasi atau mengurangi risiko yang terjadi, Alternatif ini diambil dari referensi jurnal, berikut ini merupakan Tabel 3.8 Alternatif Risiko.

Tabel 3.5 Alternatif risiko

Kode Risiko	Faktor Risiko	Alternatif Risiko	Kode Alternatif Risiko
A8	Cacat Terhadap Bahan Baku	1. Mengidentifikasi penyebab cacat bahan baku	M1
		2. Pemeriksaan bahan baku plastik yang baru datang	M2
		3. Pemilihan *supplier* berdasarkan kualitas produk yang bagus	M3
		4. Pekerja lebih bagus dalam berkerja	M4
A33	Rusak Produk Es Kristal	1. Melakukan evaluasi cara kerja karyawan secara berkala	M5
		2. Membuat standar penumpukan digudang	M6
		3. Melaksanakan sistem FIFO	M7
		4. Pengecekan produk digudang secara rutin	
		5. Melakukan pencacatan berapa banyak produk digudang	

ISBN 978-602-73461-8-5

Kode Risiko	Faktor Risiko	Alternatif Risiko	Kode Alternatif Risiko
		6. Pengemasan dilakukan dengan benar untuk kepentingan distribusi	
A6	Perusahaan tidak memiliki Manajemen yang baik	1. Evaluasi akar penyebab permasalahan yang terjadi 2. Membuat SOP Langkah kerja yang baik bagi karyawan 3. Mengatur Jadwal ulang perencanaan dipabrik secara terstruktur 4. Melakukan Komunikasi yang intens dengan semua lini 5. Membuat pengadaan bahan baku 6. Membuat perencanaan produksi 7. Membuat perencanaan penjualan 8. Membuat rekapitulasi data aktivitas di perusahaan	

3.7 Mitigasi risiko dengan *House Of Risk* fase kedua

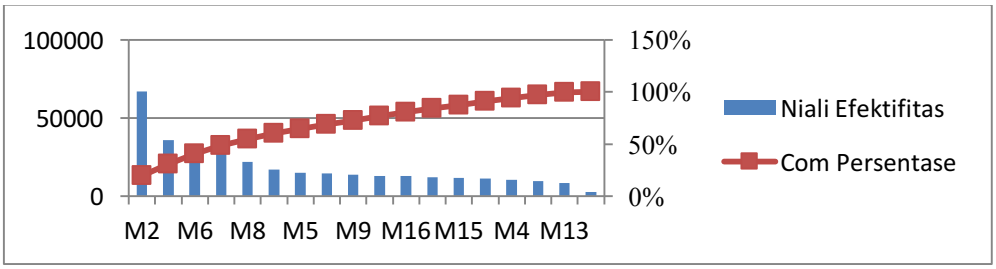
. Berikut ini merupakan beberapa contoh hasil pengolahan mitigasi menggunakan *house of risk fase* 2 terdapat pada Matriks HOR 2 Strategi Mitigasi Risiko.

Tabel 3.6 Matriks HOR 2 strategi mitigasi risiko

Faktor Risiko		Mitigasi						
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
A8	Cacat terhadap bahan baku	9	9	9	3	3	3	
A33	Rusak produk es kristal	9	3	3	9	3	9	9
A6	Perusahaan tidak memiliki manajemen yang baik	3	9			9	9	3
A17	Kualitas kantong plastik tidak bagus	9	9	9	3			
A14	Kerusakan mesin					9		
A32	Hari Libur							
A5	Adanya produk pesaing							
A7	Cuaca tidak menentu							
Total Efektivitas Tindakan		94290	89712	65961	49203	62316	65394	38535
Tingkat Kesulitan		2	1	3	4	3	2	4
Nilai Efektivitas		47145	89712	21987	12301	20772	32697	9633.8
Tingkat Prioritas		2	1	7	21	10	3	26

Berdasarkan Tabel tentang mitigasi yang dilakukan dapat diketahui urutan mitigasi berdasarkan nilai efektifitas yang tertinggi. Setelah itu dilakukan pemilihan mitigasi yang paling bagus dengan cara membuat diagram pareto mitigasi. Berikut ini adalah diagram pareto mitigasi.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 3.3 Diagram pareto mitigasi risiko

Diagram pareto diatas menggambarkan hasil korelasi untuk setiap mitigasi risiko, dimana prinsip diagram pareto yaitu dengan aturan 80/20 menggambarkan bahwa 80% merupakan mitigasi sedangkan 20% agen risiko. Oleh karena itu melalui penggambaran diagram pareto akan ditentukan mitigasi yang dapat mengatasi risiko yang ada dimana dari 37 mitigasi risiko hanya 1 mitigasi yang terpilih yaitu M2.

3.8 Penyusunan skenario dengan Fuzzy Mamdani

Mitigasi dilakukan untuk melihat apakah risiko yang terjadi dapat diatasi atau tidak berdasarkan alternatif yang sudah dibuat. Berikut ini merupakan tahapan dengan menggunakan metode mamdani.

1. Pembentukan Himpunan Fuzzy
   Pembentukan himpunan fuzzy ini bertujuan untuk menentukan variabel semesta pembicara *(range),* dan parameter.

Tabel. 3.7 Himpunan Fuzzy

Fungsi	Variabel	Himpunan Fuzzy	*Range*	Parameter
Input	A8	Sangat Mudah Diatasi	0-3675	0-735
		Mudah Diatasi		735-1470
		Bisa Diatasi		1470-2205
		Sulit Diatasi		2205-2940
		Sangat Sulit Diatasi		2940-3675
	A33	Sangat Mudah Diatasi	0-3402	0-680
		Mudah Diatasi		680-1361
		Bisa Diatasi		1361-2041
		Sulit Diatasi		2041-2722
		Sangat Sulit Diatasi		2722-3402
Input	A6	Sangat Mudah Diatasi	0-2639	0-528
		Mudah Diatasi		528-1056
		Bisa Diatasi		1056-1583
		Sulit Diatasi		1583-2111
		Sangat Sulit Diatasi		2111-2639
Output	Status Mitigasi	Mudah Diatasi		2639-3157

ISBN 978-602-73461-8-5

Fungsi	Variabel	Himpunan Fuzzy	*Range*	Parameter
		Sulit Diatasi	2639-3675	3157-3675

2. Fungsi keanggotaan

Fungsi keanggotaan logika fuzzy digunakan untuk menghitung derajat kenaggotaan suatu himpunan. Berikut ini merupakan persamaan fungsi keanggotaan menggunakan kurva segitiga.

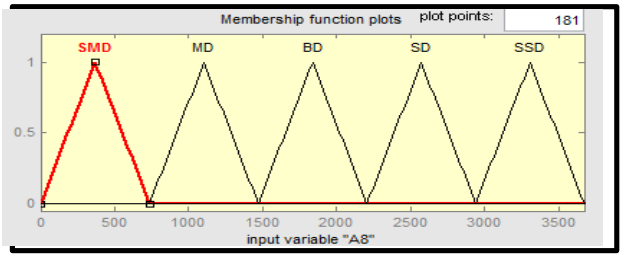
$$\mu \quad X = \begin{cases} 0 \; ; x \leq A \; dan \; x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a<x\leq b \\ \frac{b-x}{c-b}; & a<x<c \end{cases}$$

Salah satu contoh fungsi keanggotaan variabel :

$$\mu \quad Sangat\ Mudah\ Diatasi = \begin{cases} 0 \; ; x \leq 0 \; dan \; x \geq 735 \\ \frac{x-0}{367.5-0}; & 0<x\leq 367.5 \\ \frac{735-x}{735-3675.5}; & 367.5<x<735 \end{cases}$$

Gambar 3.4 merupakan untuk variabel A8 yang berbentuk kurva segitiga dan terdapat 5 himpunan fuzzy yaitu sangat mudah diatasi, mudah diatas, bisa diatasi, sulit diatasi, dan sangat sulit diatasi.

.



Gambar 3.4 Kurva variabel A8

Keterangan:

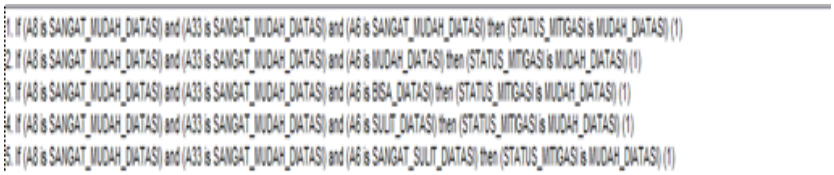
SMD = Sangat Mudah Diatasi
MD = Mudah Diatasi
BD = Bisa Diatasi
SD = Sulit Diatasi
SSD = Sangat Sulit Diatasi

3. Penentuan Aturan Fuzzy

Penentuan aturan dibentuk berdasarkan aturan-aturan antara himpunan fuzzy sebagai penentuan keputusan hasil *output* sistem. Aturan-aturan dibuat berdasarkan data-data yang ada,

ISBN 978-602-73461-8-5

maka dibentuk aturan setiap risiko yang ada. Aturan-aturan himpunan fuzzy yang terbentuk sebanyak 125 *rules.* Berikut ini beberapa contoh *rules* dari 125 rules.



Gambar 3.5 *Rules h*impunan Fuzzy

4. *Defuzzifikasi*

Defuzzifikasi merupakan tahap terakhir dari proses logika fuzzy. Tahap *defuzzifikasi* ini digunakan untuk melihat apakah risiko tersebut mudah diatasi atau sulit diatasi jika diberikan nilai himpunan dalam range tertentu. Berikut ini merupakan gambar *defuzzifikasi* dari mitigasi risiko.

Berdasarkan gambar defuzzifikasi terdapat 125 *rules* dimana *input* himpunan fuzzy diambil secara acak berdasarkan parameter masing-masing himpunan fuzzy di variabel risiko, dimisalkan untuk variabel A8 yaitu 300, variabel A33 yaitu 400, variabel A6 yaitu 2222, keluar yaitu 2130 maka status mitigasi mudah diatasi. Pada gambar defuzzifikasi terdapat kotak yang dinamakan *crips.* Pemilihan skenario digunakan sebagai pendukung keputusan untuk mitigasi risiko. skenario yang terpilih yaitu *if* (A8 sangat mudah diatasi) *and* (A33 sangat mudah diatasi) *and* (A6 sangat sulit diatasi) *then* (status mitigasi mudah diatasi).

4. Kesimpulan dan Saran

Berikut ini merupakan kesimpulan yang diperoleh dari penelitian :

1. Pemetaan aktivitas bahan baku dengan susai kondisi di PT.XYZ terdapat 12 aktivitas .
2. Risiko yang terjadi di perusahaan PT.XYZ yaitu 34 risiko berdasarkan metode HOR 1 diperoleh risiko yang harus dimitigasi sebanyak 3 risiko dan mitigasi yang terpilih untuk dilakukan perancangan yaitu m2
3. Skenario logika fuzzy yang layak dijadikan himpunan fuzzy sebanyak 125 rules dan skenario yang terpilih yaitu *if* (A8 sangat mudah diatasi) *and* (A33 sangat mudah diatasi) *and* (A6 sangat sulit diatasi) *then* (status mitigasi mudah diatasi).

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian ini yaitu pada penelitian ini pemetaan hanya menggunakan SCOR level 1, sebaiknya untuk penelitian selanjutnya pemetaan SCOR sampai level 4 agar dapat menerapkan implementasi pemetaan dan pada penelitian ini menggunakan metode logika fuzzy dengan menggunakan *software* untuk lebih akurat hasil mitigasi yang dilakukan sebaiknya penelitian selanjutnya menggunakan metode fuzzy AHP.

Daftar Pustaka

Aqlan, F. dan Lam, S. S. (2015) 'A fuzzy-based integrated framework for supply chain risk assessment', *International Journal of Production Economics*. Elsevier, 161, pp. 54–63.

Cordova, D. J. F., Molina, E. dan Navarrete Lopez, P. (2017) 'Fuzzy logic and financial risk.

ISBN 978-602-73461-8-5

A proposed classification of financial risk to the cooperative sector', *Contaduría y Administración*, 62(5), pp. 1687–1703.

Dewi, D. S., Syairudin, B. dan Nikmah, E. N. (2015) 'Risk Management in New Product Development Process for Fashion Industry: Case Study in Hijab Industry', *Procedia Manufacturing*. Elsevier B.V., 4(Iess), pp. 383–391. doi: 10.1016/j.promfg.2015.11.054.

Diabat, A. dan Panikar, V. (2012) 'Supply Chain Risk Management and its Mitigation In a Food Industry', International Journal of Production Research, pp. 1.

Jaya, R. Mahfud, dan Marimin(2014) 'Analisis Mitigasi dan Risiko Rantai Pasok Kopi Gayo Berkelanjutan Dengan Pendekatan Fuzzy', *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*.

Kristanto, B. R. (2014) 'Aplikasi Model House of Risk (HOR) Untuk Mitigasi Risiko Pada Supply Chain'.

Kusumadewi, S. dan Purnomo, H. (2010) *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan Edisi Kedua*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Nyoman Pujawan, I. dan Geraldin, L. H. (2009) 'House of risk: a model for proactive supply chain risk management', *Business Process Management Journal*, 15(6), pp. 953–967.

Pujawan, I. N. dan Er, M. (2010) *Supply Chain Management Edisi Kedua*. Surabaya: Guna Widya.

Simatupang (2016) *Struktur dan Sistem Rantai Dingin Ikan Dalam Rangka Pengembangan Sistem Logistik Ikan Nasional*. Jakarta: Supply Chain Indonesia.

Tampubolon, F., Bahaudin, A. dan Ferdinant, P. F. (2013) 'Pengelolaan Risiko Supply Chain dengan Metode House of Risk', 1(3), pp. 222–226.

Ulfah, M. (2016) 'Analisis dan Perbaikan Manajemen Risiko Rantai Pasok Gula Rafinasi Dengan Pendekatan House Of Risk', *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 26(1), pp. 87–103.

Zaroni (2017) *Logistics & Supply Chain*. Jakarta: Prasetiya Mulya Publishing.

ISBN 978-602-73461-8-5

Proses dan Permasalahan Implementasi Standar GS1 di Usaha Kecil dan Menengah (UKM) (Studi Kasus: KSU Keju Boyolali)

Tegar Yuli Arianto, Yusuf Priyandari, Pringgo Widyo Laksono
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta
Jl. Ir. Sutami No. 36A, Jebres, Kota Suarakarta, Jawa Tengah 57126
Telp. (0271) 6322110
E-mail: tegarya@student.uns.ac.id

Intisari

Persaingan dunia bisnis yang semakin global, dituntut ketepatan, kecepatan dan akurasi data yang tinggi terkait produk yang dipasarkan. Peluang dalam memasarkan produk terdapat pada jaringan ritel modern dan penjualan online. Usaha Kecil dan Menengah (UKM) secara umum memiliki hambatan untuk memasok produk ke ritel modern. UKM merupakan salah satu bagian penting perekonomian suatu negara atau daerah. Salah satu UKM yang mengalami hambatan tersebut adalah KSU Keju Boyolali. Hambatan yang dialami adalah belum menggunakan barcode produk. Penggunaan barcode sebenarnya sudah diatur dalam standar GS1. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan meninjau bagaimana proses dan permasalahan UKM dalam implementasi penggunaan standar GS1. Metodologi yang digunakan mengacu pada panduan user manual GS1. Langkah yang dilakukan yaitu proses pendaftaran keanggotaan GS1, pemilihan proses pencetakan barcode, pemilihan jenis barcode, dan redesain kemasan. Hasil dari penelitian ini menemukan bahwa ada persyaratan penggunaan standar GS1 yang belum bisa dipenuhi oleh KSU, jenis barcode yang digunakan adalah EAN-13 dengan mencetak statis pada kemasan, dan dilakukan redesain kemasan untuk implementasi dan untuk mendukung produk masuk rite modern. Selain itu, ditemukan beberapa permasalahan yang dialami dalam implementasi penggunaan standar GS1. Oleh karena itu, UKM yang akan implementasi barcode standar GS1 harus melakukan persiapan kebutuhan untuk implementasi dan mempertimbangkan potensi income yang diperoleh dengan bertambahnya konsumen dari ritel modern.

Kata kunci: UKM, KSU, GS1, Barcode.

1. Pendahuluan

Persaingan dunia bisnis yang semakin global, dituntut ketepatan, kecepatan dan akurasi data yang tinggi terkait produk yang dipasarkan. Peluang dalam memasarkan produk terdapat pada jaringan ritel modern dan penjualan online. Namun di sisi lain terjadi persaingan yang semakin ketat antar pemasok untuk merebut akses jaringan ritel modern (Utomo, 2010). Kondisi ini tentunya akan berdampak tersisihnya pemasok usaha kecil dan menengah (UKM) apabila tidak didukung dengan baik.

Usaha kecil dan menengah (UKM) merupakan salah satu bagian penting dari perekonomian suatu negara atau daerah. Salah satu UKM yang berkembang adalah produsen pengolah susu menjadi produk keju. Produksi susu sapi sendiri secara nasional tahun 2016 meningkat sebanyak 17,83 ribu ton dibandingan tahun 2015 (Agustina, 2016). Adapun konsumsi secara global terhadap keju, sebagai produk turunan susu sapi, mengalami peningkatan pada 5 tahun terakhir rata-rata 1,20% per tahun atau sebesar 17,5 juta ton per tahun (Agustina, 2015). Salah satu wilayah yang dikenal sebagai daerah penghasil susu adalah Kabupaten Boyolali, Propinsi Jawa Tengah.

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Sebagai wilayah penghasil susu, produk keju juga diproduksi di Kabupaten Boyolali. Produsen penghasil keju tersebut adalah Koperasi Serba Usaha (KSU) Keju Boyolali, dibentuk tahun 2009, yang didirikan oleh Bapak Noviyanto. KSU Keju Boyolali awalnya dapat menyerap susu dari 500 liter per hari kemudian naik menjadi 800 - 1000 liter dan tahun 2017 mencapai 1500 liter atau setara dengan produksi 120 – 170 kg.

Berkaitan distribusi dan pemasaran, meskipun rasa keju yang dihasilkan oleh KSU Keju Boyolali tidak kalah dengan keju impor produk pabrikan dari Eropa atau Amerika (Marwoto, 2015), faktanya adalah keju ini belum masuk ke ritel modern. Hambatan umum yang dihadapi oleh Usaha Kecil dan Menengah (UKM) memasok produk ke ritel modern berkisar pada manajemen, standarisasi produk dan kemasan, serta biaya pemasaran. Secara khusus syarat produk masuk ke ritel modern adalah kualitas dan harga kompetitif, desain kemasan yang baik, penggunaan *barcode* pada produk, nama produk pada kemasan, ukuran (berat/ volume) pada kemasan, dan informasi sertifikasi mutu seperti registrasi dari departemen kesehatan atau BPOM dan halal (Nur & Muslimin, 2009; Indomaret, 2018). Adapun persyaratan yang belum dipenuhi oleh KSU Keju Boyolali adalah penggunaan *barcode* pada produk.

Penggunaan *barcode* dapat dilakukan menggunakan sistem standar yang diatur oleh GS1. GS1 adalah sebuah lembaga nirlaba internasional yang mengatur penomoran produk komersil sehingga semua produk dapat dikenali di seluruh dunia. GS1 memiliki anggota yang merupakan organisasi anggota lokal di lebih 110 negara di seluruh dunia, salah satunya yaitu Indonesia. Standar GS1 ini menyediakan sebuah kerangka kerja yang memungkinkan produk, jasa dan informasi untuk bergerak secara efisien dan aman untuk kepentingan bisnis dan peningkatan hidup manusia serta pelaksanaan *traceability* (GS1 Indonesia, 2017). Pada umumnya implementasi standar GS1 di perusahaan untuk mendapatkan *barcode* bagi produk (Wikipedia, 2018). Proses implementasi *barcode* GS1 ini terdapat panduan yang dikeluarkan oleh GS1 dalam user manual 10 langkah implementasi *barcode*. Panduan yang dikeluarkan ini masih bersifat umum dan diperlukan pendampingan dalam implementasi, terutama untuk pelaku UKM.

Perusahaan-perusahaan besar tentunya tidak banyak mengalami kendala dalam proses implementasi standar tersebut. Namun, tentunya akan berbeda dengan pelaku usaha kecil dan menengah (UKM). Sebagai contoh dalam persyaratan mendaftar anggota GS1 terdapat beberapa dokumen yang harus dipenuhi (GS1, 2017)). Pendaftaran dan pemenuhan dokumen ini tentunya juga akan membutuhkan biaya yang membebani UKM. Seperti dijelaskan oleh Jacky, pemilik usaha UKM Nozy Jaya di Banda Aceh, mengaku bahwa pembiayaan yang harus dikeluarkan untuk mendapatkan *barcode*, memang menjadi beban tersendiri. Hal ini disebabkan karena UKM juga harus berpikir pemasaran dan promosi sendiri (Basuki, 2016). Selain itu, setelah adanya *barcode* kemasan dan peluang memasuki ritel modern, diperlukan untuk redesain kemasan yang menyertakan *barcode* dan dapat bersaing dengan produsen lain.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan mengkaji bagaimana proses dan permasalahan UKM dalam implementasi standar GS1. Implementasi standar GS1 yang dilakukan adalah pada penomoran produk atau penggunaan *barcode* produk. UKM yang dipilih adalah UKM yang sedang berkembang dan dapat bersaing serta mempunyai peluang untuk semakin dikembangkan yaitu KSU Keju Boyolali.

2. Metode

Metode yang digunakan untuk implementasi standar GS1 mengacu pada dokumen user manual dari GS1 (GS1, 2015). Pada dokumen tersebut, dijelaskan secara umum ada sepuluh langkah dalam implementasi *barcode* GS1. Pada sepuluh langkah terdapat langkah yang dapat dilakukan secara bersamaan. Misalkan pada langkah pertama dan kedua yaitu registrasi dan

DIPRESENTASIKAN TIDAK

ISBN 978-602-73461-8-5

pemberian nomor. Registrasi merupakan langkah mendapatkan *company prefix* dari GS1 dan pemberian nomor merupakan penggunaan nomor identifikasi GS1 untuk produk perdagangan. Sehingga penelitian ini disederhanakan dalam empat langkah implementasi.

Langkah pertama adalah registrasi dan pemberian nomor. Registrasi di sini adalah pendaftaran perusahaan menjadi anggota GS1. Pada pendaftaran ini perusahaan melengkapi beberapa dokumen dan mengisi formulir pendaftaran yang ditentukan GS1 Indonesia. Setelah perusahaan menjadi anggota GS1, maka perusahaan dapat mendapatkan *company prefix* yang terdiri dari kode negara dan kode perusahaan. Setelah itu, perusahaan dapat melakukan penomoran terhadap produk.

Langkah kedua yaitu pemilihan proses pencetakan *barcode*. Pada tahapan ini akan ditentukan *barcode* yang digunakan membawa informasi statis atau dinamis. Penentuan ini dengan pertimbangan informasi yang masuk pada label kemasan yang ada sekarang dengan cara observasi dan produk apa saja yang akan diberi *barcode* pada penelitian ini.

Langkah ketiga yaitu pemilihan jenis *barcode* yang digunakan. Pada tahapan ini ditentukan jenis *barcode* yang digunakan pada produk dengan pertimbangan lingkungan pembacaan *barcode* tersebut dilaksanakan. Jenis *barcode* ini dipertimbangkan juga informasi pada *barcode* yang ditentukan pada tahapan sebelumnya. Langkah keempat yaitu melakukan redesain kemasan agar *barcode* dapat ditempatkan dan desain dapat diperbaiki. Pada redesain kemasan ini ukuran *barcode* ditentukan sesuai ruang tersedia pada kemasan dan disesuaikan dengan aturan jenis *barcode* yang digunakan. Pada *barcode* akan ditentukan warna yang maksimum dalam pembacaan dan pemberian nomor dibawahnya untuk *back-up* saat *barcode* rusak. Sedangkan untuk desain secara keseluruhan dan informasi yang dimasukkan mengacu pada literatur mengenai redesain kemasan.

Tahapan terakhir yaitu analisis permasalahan yang terjadi untuk implementasi standar GS1. Pada tahapan ini dijelaskan mengenai permasalahan yang ditemukan dan kendala yang dialami UKM dalam implementasi standar GS1. Setelah semua tahapan tersebut dilakukan kemudian dapat diambil kesimpulan.

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut ini merupakan hasil dan pembahasan dari proses dan hambatan implementasi standar GS1 di KSU Keju Boyolali.

3.1 Registrasi keanggotaan GS1 dan pemberian nomor

Sebelum perusahaan menggunakan *barcode*, pertama yang harus dilakukan adalah menentukan angka-angka pada *barcode*. Angka-angka tersebut biasa disebut kunci identifikasi yang dinamakan *company prefix*. Penentuan kunci identifikasi ini diatur dalam organisasi GS1 (GS1, 2017). *Company prefix* ini didapatkan oleh perusahaan dengan mendaftarkan ke GS1 lokal yaitu GS1 Indonesia.

Berdasarkan prosedur yang ditentukan GS1 Indonesia. Prosedur yang dilakukan perusahaan mendapatkan nomor *company prefix* adalah dengan mengisi formulir dan melengkapi semua dokumen yang ditentukan (GS1, 2015). Pengisian formulir dilakukan oleh KSU Keju Boyolali sesuai yang diberikan oleh GS1 Indonesia. Setelah formulir lengkap kemudian dikirim ke kantor GS1 Indonesia beserta fotocopy dokumen persyaratan yang harus dilengkapi. Salah satu dokumen tersebut adalah fotocopy akta pendirian perusahaan. Dari pengecekan ke KSU Keju Boyolali, dokumen tersebut sudah tersedia. Adapun dokumen lainnya yang harus dilengkapi dan status yang tersedianya pada KSU Keju Boyolali terlihat pada Tabel 1.

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 1. Dokumen persyaratan dan status dokumen di KSU Keju Boyolali

No	Nama dokumen	Status Dokumen
1	Fotocopy Akta pendirian perusahaan	Tersedia
2	Fotocopy NPWP (perusahaan).	Tersedia
3	Fotocopy SIUP	Belum Tersedia
4	Fotocopy TDP (Tanda Daftar Perusahaan).	Belum Tersedia
5	Fotocopy Surat Keterangan Domisili Usaha	Tersedia
6	Surat Pengukuhan Pengusaha Kena Pajak (PKP)	Tersedia
7	Fotocopy KTP pimpinan dan orang yang diberi tanggungjawab pengurusan *barcode*	Tersedia
8	Surat Kuasa bagi orang yang diberi tanggungjawab untuk mengurus pendaftaran keanggotaan GSI Indonesia.	Tersedia
9	Fotocopy izin dari Departemen Kesehatan (SP/MD).	Tersedia

Dari pengecekan dokumen KSU Keju Boyolali ditemukan bahwa ada dua dokumen yang belum tersedia yaitu fotocopy SIUP dan TDP. Maka idealnya perusahaan harus membuat dokumen tersebut untuk mendaftarkan ke GS1. Setelah semua berkas dan formulir lengkap kemudian dikirim ke pihak GS1 Indonesia, maka dilakukan pemrosesan. Namun, apabila ada salah satu dokumen yang tidak dimiliki maka perusahaan membuat surat pernyataan yang menjelaskan dokumen yang tidak dimiliki. Sedangkan pada kasus KSU ini, kekurangan dokumen TDP masih dalam proses pembuatan dapat dikirim menyusul.

Setelah dokumen tersebut diterima GS1 Indonesia. *Membership Department* GS1 Indonesia menganalisis formulir registrasi dan berkas berkas persyaratan untuk menentukan besarnya iuran keanggotaan GS1 Indonesia. Setelah *Membership Department* menentukan besar iuran anggota, selanjutnya dikirimkan ke perusahaan berupa *invoice* pendaftaran dan keanggotaan. Setelah semua pembayaran dan administrasi diselesaikan maka KSU Keju Boyolali mendapatkan nomor *company prefix* dan sertifikat keanggotaan GS1. Adapun biaya yang harus dibayar oleh perusahaan dikategorikan berdasarkan modal awal. Tabel 2 memperlihatkan biaya keanggotaan yang terdiri dari biaya pendaftaran, tahunan, dan *number fee* (3 tahunan).

Tabel 2. Biaya dari *member* GS1 Indonesia

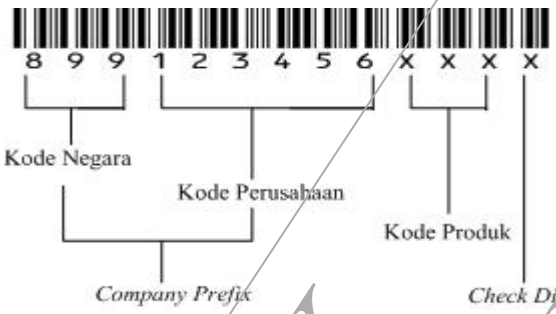
Modal awal	Pendaftaran	Tahunan	Number fee (3 tahunan)
< Rp 250.000.000,	Rp 1.000.000,-	Rp 1.000.000,-	Rp.1.700.000,-
Rp 250.000.001 – Rp 1.000.000.000,-	Rp 1.000.000,-	Rp 1.000.000,-	Rp 3.400.000,-
Rp 1.000.000.001 – Rp 5.000.000.000,-	Rp 1.000.000,-	Rp 1.500.000,-	Rp 6.500.000,-
Rp 5.000.000.001 – Rp 15.000.000.000,-	Rp 1.000.000,-	Rp 1.750.000,-	Rp 9.500.000,-
> Rp 15.000.000.000,-	Rp 1.000.000,-	Rp 2.000.000,-	Rp 12.900.000,-

Sumber: GS1 Indonesia (2018)

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Setelah mendapat nomor *Company Prefix* GS1, perusahaan siap untuk mulai memberikan nomor identifikasi kepada produk. Pada *company prefix* terdiri dari dua kode yaitu kode negara dan kode perusahaan. Kode negara yang diatur untuk negara Indonesia bernomor 899. Kemudian kode perusahaan yang didapatkan dari GS1 yaitu 123456. Pemisalan ini dilakukan karena pada penulisan paper ini, masih dalam proses pengajuan ke GS1 Indonesia. Adapun contoh digit *company prefix* dan penjelasannya digambarkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi *company prefix*

3.2. Pemilihan proses pencetakan *barcode*

Sebelum pemilihan proses pencetakan *barcode*, dilakukan pengumpulan informasi yang berada kemasan dan penentuan produk yang akan digunakan sebagai contoh sekaligus diberikan *barcode*. Berdasarkan observasi terdapat sembilan macam informasi pada kemasan. Informasi tersebut salah satunya adalah logo dan nomor sertifikasi halal MUI. Pada informasi ini dicetak dalam label dan informasi ini bersifat statis. Contoh informasi yang lainnya adalah tanggal kadaluarsa. Informasi ini bersifat dinamis dan penulisannya secara manual tulis tangan. Adapun label kemasan awal yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Desain kemasan awal digunakan (mozzarella dan mountain chilli)

Pada penelitian ini, produk yang digunakan contoh penomoran adalah dua produk keju. Produk pertama adalah mozzarella dan produk kedua adalah mountain chilli. Prioritas pemilihan produk yang digunakan untuk contoh dan sekaligus pemberian *barcode* didasarkan karena dua produk ini yang sering diproduksi.

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Informasi yang telah diketahui digunakan sebagai pertimbangan pemilihan nomor *barcode* yang akan disusun. Nomor *barcode* yang dapat digunakan adalah nomor yang menunjukkan suatu informasi agar dapat dilakukan pemindaian secara otomatis. Alternatif yang diusulkan berdasarkan penjelasan tersebut yaitu terdiri dari nomor produk yang informasinya tidak akan berubah-ubah. Pada alternatif ini, *barcode* bersifat statis untuk setiap jenis produk. GS1 (2015) menjelaskan *barcode* dengan data statis dapat dicetak langsung pada label kemasan. Dalam proses pencetakannya dapat dilakukan dengan mencetak bersama dengan label kemasan (GS1, 2015).

3.3. Pemilihan jenis *barcode*

Pemilihan jenis *barcode* dilakukan dengan pertimbangan lingkungan pemindaian pada konsumen yang selama ini sering melakukan permintaan dan target konsumen selanjutnya. Selama ini konsumen yang sering melakukan permintaan terhadap KSU Keju Boyolali adalah dari pihak hotel dan restoran. Adapun hotel dan restoran tersebut tersebar di beberapa kota seperti Surakarta, Yogyakarta, dan Bali. Target konsumen selanjutnya setelah menerapkan penomoran *barcode* adalah ritel modern.

Pada panduan user manual GS1 dijelaskan bahwa jenis *barcode* yang terdiri hanya nomor produk dan bersifat statis adalah EAN dan UPC (GS1, 2016). Dengan pertimbangan pengamatan penggunaan yang banyak digunakan pada produk yang beredar di ritel modern dan dilakukan pemindaian pada kasir ritel, maka ditentukan penggunaan jenis *barcode* yaitu jenis EAN 13. Adapun penomoran untuk produk mozzarella dan mountain chilli menggunakan jenis EAN 13 yaitu 8991234560014 dan 8991234560021. Tabel 3 menginformasikan produk dan keterangan nomor produk serta contoh *barcode*.

Tabel 3. Penggunaan *Barcode* EAN 13

No	Produk	Kode negara	Kode perusahaan	Kode produk	Cek digit	Contoh *Barcode*
1	Mozarella Fresh	899	123456	01	4	
2	Mountain Chilli	899	123456	02	1	

3.4. Rekomendasi desain kemasan

Pada kemasan sebelumnya belum terdapat *barcode*. Sehingga apabila ada penambahan *barcode* maka dilakukan perubahan desain kemasan. Perancangan desain kemasan yang baru berdasarkan studi literatur tentang perancangan desain kemasan. Sebelum melakukan desain kemasan,dilakukan penentuan atribut kebutuhan pelanggan dan dielompoanan ke dalam atribut kemasan. Atribut kebutuhan pelanggan diperoleh dari studi literatur (Hasan, et al., 2012). Atribut kebutuhan pelanggan dan pengelompokan ke dalam atribut kemasan dapat dilihat pada Tabel 4.

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabel 4. Atribut kemasan

Atribut Kemasan	Atribut Kebutuhan Pelanggan
Grafik	Posisi gambar pada kemasan penting
	Kemasan grafik mewakili warna produk
	Kemasan menggunakan jenis huruf yang mudah dibaca
	Kemasan menggunakan ukuran huruf yang mudah dibaca
	Kemasan memiliki gambar produk/ gambar yang menarik
Warna	Kemasan menggunakan warna yang mempresentasikan warna produk
Bentuk	Kemasan memiliki bentuk yang mudah dibawa
	Kemasan memiliki bentuk yang mudah dibaca
Ukuran	Kemasan memiliki ukuran sesuai dengan berat produk
Bahan kemasan	Bahan kemasan memiliki ketahanan terhadap air
Informasi kemasan	Kemasan mencantumkan daftar bahan yang dipakai
	Kemasan mencantumkan berat bersih
	Kemasan mencantumkan nama dan alamat pihak memproduksi
	Kemasan mencantumkan sertifikasi halal
	Kemasan mencantumkan kode produksi
	Kemasan mencantumkan tanggal kadaluarsa
	Kemasan mencantumkan nama produk
	Kemasan mencantumkan tanda merk (logo)
	Kemasan memiliki *barcode*

Atribut kebutuhan pelanggan yang disajikan Tabel 4 digunakan sebagai acuan dalam perancangan desain baru. Perbaikan desain kemasan dilakukan dengan mendeskripsikan dan interpretasi dengan mengacu atribut kebutuhan pelanggan. Ukuran label kemasan yang direkomendasikan akan dibuat dengan penyesuaian ukuran label yang selama ini digunakan yaitu 8 x 7,5 cm. Penyesuaian ukuran ini bertujuan agar kemasan yang digunakan tidak akan mengalami perubahan, ukuran produk yang tetap, dan biaya yang dikeluarkan sama atau tidak berbeda jauh dengan dengan biaya sebelumnya. Desain yang baru ditambahkan dengan adanya *barcode*, maka ditentukan juga ukuran *barcode* yang dibuat. Penentuan ukuran *barcode* dengan menyesuaikan ruang pada desain dan proses pemendekan proporsi *default* ukuran awal. Ukuran *barcode* pada kemasan keju mozzarella adalah 3,2 x 1,4 cm. sedangkan pada label kemasan keju mountain chilli adalah 2,6 x 1,2 cm.

Pertimbangan bahan label kemasan yang digunakan adalah tempat dimana kemasan tersebut akan disimpan untuk mencegah terjadinya kerusakan label kemasan. Produk keju biasanya disimpan pada lemari pendingin seperti yang tertera pada label yang digunakan sekarang. Sehingga bahan yang digunakan melibatkan bahan yang tidak mudah rusak pada lemari pendingin atau tahan air. Bahan yang bisa digunakan sebagai alternatif untuk label kemasan adalah bahan sticker mirror atau vinnyl.

Grafik label kemasan yang ditambahkan dengan penggunaan *barcode* mengalami beberapa perubahan. Kunci yang dipakai untuk menghasilkan grafik label kemasan adalah warna dasar yang menggambarkan produk, nama merk yang diperlihatkan, jenis keju sebagai keterangan produk yang dikemas, dan penggunaan gambar yang menarik.

Warna dasar yang digunakan adalah warna kuning. Warna ini dipilih karena mewakili warna produk tersebut. Warna kuning ini memperlihatkan warna yang menyenangkan, yang

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

memberikan kesan hangat dan menarik perhatian. Nama merk dari keju diletakkan di tempat yang paling terlihat dan diberikan *font* lebih besar agar memberikan *brand* terhadap keju tersebut. Nama merk indrakila ditempatkan paling atas untuk memberikan kesan bahwa keju yang dijual adalah keju yang berbeda *brand* dengan merk lain. Bawah nama merk diberikan keterangan yang menjelaskan bahwa jenis keju yang dikemas. Pada background label kemasan ditampilkan contoh produk olahan keju mozzarella dan mounain chilli yang dapat menarik konsumen untuk membeli.

Perubahan juga dilakukan dengan penambahan *barcode* dengan penentuan warna *barcode*. Pemilihan warna *barcode* digunakan kombinasi warna yang optimum untuk simbol *barcode*. Kombinasi warna optimum yaitu warna hitam untuk garis dan putih untuk *background (space dan quiet zones*). Hasil dari perancangan desain kemasan usulan dengan penambahan *barcode* adalah sebagai berikut.

Gambar 3. Desain kemasan usulan (mozzarella dan mountain chilli)

3.5. Permasalahan dan analisis dalam implementasi standar GS1 di KSU keju Boyolali

Pada implementasi standar GS1 di KSU Keju Boyolali ada beberapa permasalahan. Pendaftaran suatu perusahaan ke GS1 Indonesia harus memenuhi berkas-berkas persyaratan yang sudah ditentukan oleh GS1 Indonesia. Adapun KSU Keju Boyolali sendiri belum mempunyai dua dokumen yang menjadi persyaratan tersebut yaitu SIUP dan Tanda Daftar Perusahaan (TDP). Namun, kekurangan dokumen ini dapat digantikan dengan pembuatan surat pernyataan yang menerangkan kekurangan dokumen yang dimiliki atau apabila proses pembuatan dapat disusulkan. Proses mendapatkan *barcode* standar GS1 ini membutuhkan biaya yang cukup besar. Diantaranya ada biaya pendaftaran, biaya iuran tahunan, dan biaya tiga tahunan yang dikelompokkan sesuai dengan modal awal usaha. Jumlah biaya yang ditetapkan oleh standar GS1 tentunya masih cukup memberatkan bagi UKM. Meskipun manfaat yang dapat didapatkan cukup banyak yaitu dapat menggunakan penomoran *barcode* produk dan implementasi *traceability*. Penggunaan *barcode* pada produk tersebut dapat membuka peluang bagi perusahaan untuk melakukan pengecekan produk secara otomatis, menunjukkan tempat produk diproduksi dan masuk ke ritel modern. Seperti dijelaskan bahwa secara khusus salah satu syarat produk masuk ke ritel modern adalah menggunakan *barcode* produk.

Penerapan standar GS1 dapat dilakukan pada produk satuan dan kemasan box. Pada penelitian ini dilakukan pada produk satuan, jenis *barcode* yang digunakan adalah EAN-13 dengan penempatan pada label kemasan seperti digambarkan pada gambar 3. Setiap nomor

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

barcode yang digunakan harus mewakili jenis produk dengan ukuran (berat/ volume) tertentu. Kendala yang terjadi sekarang adalah perusahaan belum dapat membuat produk satuan tersebut dengan ukuran berat yang sama. Sedangkan harga penjualan produk menggunakan berat produk tersebut. Sehingga untuk penggunaan nomor produk disarankan untuk disesuaikan dengan jenis produk dan produk yang dijual ritel modern adalah jenis produk yang memiliki berat berkisar paling kecil serta berat produk ditulis dengan kisaran berat produk tersebut. Untuk mengurangi adanya kerugian yang terjadi maka disarankan harga produk yang dijual dapat ditentukan di rata-rata berat produk.

Permasalahan lainnya yang terjadi pada perusahaan untuk penerapan standar GS1 adalah perusahaan harus melakukan redesain kemasan produk satuan yang harus ditambahkan dengan *barcode* sebagai konsekuensi penggunaan *barcode*. *Barcode* yang dipilih adalah warna kombinasi warna yang optimum untuk simbol *barcode* pada kemasan agar mempunyai kualitas yang dapat dibaca oleh *barcode reader*. Selain itu, desain kemasan harus diperbaiki agar menarik banyak konsumen apabila dijual di ritel modern sebagai sasaran penjualan selanjutnya. Adapun usulan perubahan desain kemasan dicontohkan dalam Gambar 3.

Pada kemasan awal, informasi nama merk/ logo merk produk ditempatkan pada bagian pinggir tengah dan bagian atas adalah informasi jenis keju yang diproduksi. Penempatan ini kurang memberikan brand keju tersebut dikarenakan konsumen akan lebih sering melihat jenis keju. Sehingga apabila menemukan jenis keju dengan jenis yang sama, akan terkesan bahwa produk tersebut dapat digunakan sebagai pengganti keju indrakila. Pada rekomendasi kemasan usulan, nama/logo merk produk ditempatkan di paling atas dan tulisan jenis keju yang dikemas ditempatkan dibawahnya. Penempatan seperti ini dapat menginformasian bahwa keju yang dikemas adalah keju yang bermerk Indrakila. Kemudian tulisan jenis keju dibawah nama merk untuk memberikan keterangan informasi keju merk indrakila yang dikemas. Penempatan ini dapat lebih mengenalkan bahwa jenis produk yang dibeli adalah keju indrakila yang berbeda dengan keju yang lainnya meskipun jenis kejunya sama. Sehingga konsumen yang suka dengan keju indrakila dapat kembali mencari keju indrakila.

Warna yang digunakan pada label kemasan awal memiliki warna yang berbeda-beda yaitu ada warna merah dan jingga. Pada kemasan usulan diberikan warna yang sama yaitu warna kuning. Warna kuning ini dipilih untuk membedakan dari warna kemasan keju produksi perusahaan pesaing. Sehingga konsumen akan teringat bahwa kemasan dengan warna kuning adalah keju yang bermerk indrakila. Warna yang dipilih dapat memberikan kesan seperti warna produk yang dikemas.

4. Kesimpulan dan Saran

Proses implementasi standar GS1 pada KSU Keju Boyolali secara garis besar dilakukan dalam empat tahapan. Proses pertama adalah mendapatkan registrasi keanggotaan dan pemberian nomor. Registrasi yang dilakukan harus mengisi formulir dan melengkapi 9 dokumen yang ditentukan. Setelah itu, melakukan pembayaran sesuai kategori modal awal agar mendapatkan *company prefix*. Kedua, pencetakan *barcode* dilakukan pada kemasan dikarenakan data bersifat statis. Ketiga, jenis *barcode* yang digunakan pada produk adalah EAN-13. Keempat, melakukan redesain kemasan dengan contoh desain kemasan usulan diperlihatkan pada gambar 3.

Pada penerapan standar GS1 pada Usaha Kecil dan Menengah (UKM) terdapat beberapa permasalahan yang terjadi. Permasalahan tersebut yaitu belum lengkapnya dokumen, biaya registrasi, iuran tahunan, dan tiga tahunan yang harus dipenuhi oleh UKM, penentuan nomor produk dikarenakan berat produk yang ukuran sama belum stabil, serta redesain kemasan yang harus dilakukan dengan pertimbangan kebutuhan pelanggan dan penempatan *barcode*. Oleh

TIDAK UNTUK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

karena itu, UKM yang akan implementasi *barcode* standar GS1 harus melakukan persiapan kebutuhan untuk implementasi dan pertimbangan potensi *income* yang diperoleh dengan bertambahnya konsumen dari ritel modern.

Daftar Pustaka

Agustina, T. 2015. Outlook Komoditas Pertanian Sub Sektor Peternak Susu. ISSN: 1907-1507.

Agustina, T. 2016. Outlook Komoditas Pertanian Sub Sektor Peternak Susu. ISSN: 1907-1507.

Basuki. P. 2016. Pentingnya *Barcode* Pada Sebuah Produk. *Tabloid Tabangun Aceh*. p.14.

Global User 1 (GS1). 2015. *GS1 Made Easy - Global Meat and Poultry Traceability Guideline Companion Document. Release* 1.0, *Ratified*, Nov 2015.

Global User 1 (GS1). 2016. *Global User Manual* : User guide to the main GS1 identification and barcoding standards. Release 17.0, Ratified, May 2016.

Global User Manual . 2015. Ten Steps to GS1 *Barcode* Implementation.

GS1 Indonesia. 2017. Akses online 28 20 januari 2018. URL: http://www.gs1id.org/GS1.html.

Hassan, S. H., Leng, L. W., & Peng, W. W. 2012. The Influence of Food Product Packaging Attributes in Purchase Decision: A Study Among Consumers in Penang, Malaysia. *Journal of Agribusiness Marketing*, pp. 14-28.

Indomaret.co.id. Syarat Pemasok. Akses online 27 februari 2018. URL: http://indomaret.co.id/mitra/info-pemasok/syarat-pemasok.html.

Marwoto, B., D. 2015. Keju Boyolali Produksi Noviyanto Terus Berkembang. Akses online20 Januari 2018. URL : https://jateng.antaranews.com/detail/keju-boyolali-produksi-noviyanto-terus-berkembang.html.

Nur, Y.H., & Muslimin, L. 2009. Pemasaran Produk SME Melalui Jaringan Retail Besar. Litbang Perdagangan, 3. Pp. 307-329.

Utomo, T., J. 2010. Lingkungan Bisnis dan Persaingan Bisnis Ritel. *Fokus Eonomi.* Vol. 5. Pp. 70-80.

Wikipedia. Akses 28 februari 2018. URL: http://www.wikipedia.org/wiki/GS1.

TIDAK DIPRESENTASIKAN

ISBN 978-602-73461-8-5

M – MANUFAKTUR

Departemen Teknik Mesin dan Industri FT UGM
ISBN 978-602-73461-8-5

Penentuan Analitik Frekuensi Alami Dan Modus Getar Tabung Motor Roket Rx 320 Dengan Metode Holzer

Agus Budi Djatmiko
Peneliti Bidang Struktur Mekanika Pustekroket LAPAN
Email : agusbudi60@gmail.com

Intisari

Getaran yang diakibatkan oleh proses pembakaran pada roket merambat menuju struktur tabung motor roket. Struktur tabung motor roket di desain untuk menahan beban-beban yang terjadi selama misi penerbangan. Karena adanya beban torsi yang mengakibatkan rotasi, maka akan ada perpindahan sepanjang tabung yang merupakan fungsi posisi sudut θ dan waktu t yang dapat meyebabkan timbulnya getaran. Untuk mengetahui keamanan roket dari getaran tersebut perlu mengetahui nilai safety factor dari nilai frekuensi natural. Untuk keperluan itu, tabung motor roket disederhanakan dengan menggunakan metode pendekatan untuk mendapatkan variabel yang sulit secara analitik dengan cara diskritisasi sistem kontinu menjadi elemen-elemen kecil sejumlah tertentu. Pendekatan ini memungkinkan mengubah permasalahan suatu sistem yang memiliki derajat kebebasan tak terhingga menjadi sistem dengan derajat kebebasan berhingga. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana nilai batas aman roket terhadap getaran. Untuk itu akan dicari nilai frekuensi natural tabung motor roket RX 320 dalam 3 derajat kebebasan dan modus getarnya dengan metode holzer. Penelitian dilakukan terhadap struktur tabung motor roket RX 320 dari bahan stainless steel AISI 304. Pada tegangan Tarik $\sigma_{shear} = 50{,}5\ 10^7\ N/m^2$, besarnya frekuensi natural tabung motor roket dalam tiga derajat kebebasan dalam arah rotasi, yaitu $f_1 = 648{,}85$ Hz, $f_2 = 1198{,}92$ Hz dan $f_3 = 1566{,}47$ Hz. Dengan nilai frekuensi maksimum 1566,47 Hz maka tegangan geser maksimum pada tabung adalah $\tau = 8{,}32\ 10^7\ N/m^2$ dan diperoleh faktor keamanan (SF) = 25,25/8,32 = 3,00, yang menegaskan bahwa tabung cukup aman dari gangguan beban torsi. Pada frekuensi f_1 dan f_2, tabung jauh lebih aman.

Kata Kunci : Safe factor, roket, Stainless steel

1. Pendahuluan

Pada saat roket terbang, terjadi gaya-gaya aerodinamika pada pusat massa roket yang dapat menyebabkan roket berotasi terhadap sumbu roket. Karena adanya gaya-gaya yang menyebabkan rotasi maka akan ada perpindahan u sepanjang tabung yang merupakan fungsi posisi θ dan waktu t yang dapat meyebabkan timbulnya getaran.[1,2]

Banyak sistem getaran yang dapat digambarkan sebagai sistem berparameter banyak. Dengan menguji respon sistem itu terhadap rangsangan harmonik, pada berbagai frekuensi, maka frekuensi natural dan bentuk ragam dapat ditentukan. Salah satu metode analisis dalam pemecahan masalah getaran suatu struktur mekanik adalah menggunakan analisis modus getar.[3,4,5].

ISBN 978-602-73461-8-5

Tabung dianggap sebagai benda yang mempunyai distribusi massa dan elstisitas, dianggap homogen dan isontropik. Pada saat perencanaan, tabung motor roket tidak boleh bekerja pada frekuensi naturalnya (frekuensi tabung itu sendiri) karena dapat menyebabkan roket bergetar karena mengalami resonansi dalam arti frekuensi tabung sama dengan frekuensi kerja tabung. Untuk itu, perlu dianalisa besarnya frekuensi natural tabung motor roket akibat gaya-gaya yang bekerja padanya[6,7].

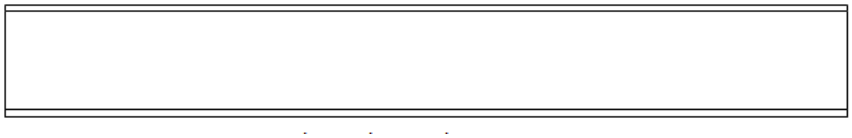
Perilaku dinamik suatu struktur ditentukan oleh parameter modus getarnya, yakni frekuensi pribadi, faktor redaman dan amplitudo modus getarnya. Dengan mengetahul perilaku dinamiknya, akan dapat diketahui keandalan dari sistem terhadap eksitasi dinamik yang terjadi dengan metoda holzer [8,9]. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui sejauh mana nilai keamanan saat terbang bagi tabung motor roket RX 320 yang ditentukan dari frekuensi natural dalam arah rotasi. Frekuensi natural tabung tersebut bisa ditentukan dengan menggunakan metode Holzer. Dengan diketahui frekuensi ini, pemberian gaya eksitasi yang mendekati frekuensi natural dihindari, sehingga nilai keemanan roket saat terbang bisa ditentukan. Selain itu, dapat pula ditentukan modus getar (*mode shape*) tabung tersebut [9,10].

2. Landasan Teori

Jika suatu sistem tanpa redaman bergetar bebas pada salah satu frekuensi naturalnya, maka gaya atau torsi atau momen dari luar tidak diperlukan untuk mempertahankan getaran tersebut. Begitu pula amplitudo dari bentuk ragam tidak penting bagi getaran. Memperhatikan kenyataan itu, Holzer mengusulkan suatu perhitungan frekuensi natural dan bentuk ragam sistem torsi dengan mengambil sebuah frekuensi dan mulai dengan suatu amplitudo satuan pada salah satu ujung sistem. Kemudian menghitung torsi dan perpindahan sudut di ujung yang lain. Frekuensi yang dihasilkan pada torsi luar nol atau syarat-syarat batas yang cocok pada ujung lain adalah ferkuensi natural sisitem. Metode ini dapat digunakan tiap sistem massa gumpalan.

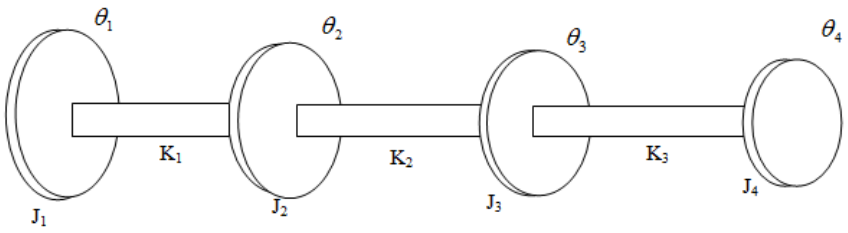
2.1. Prosedur holzer untuk sistem torsi

Gambar 1 dan 2 di bawah menunjukan suatu tabung motor roket RX 320 yang disederhanakan menjadi sistem torsi yang terdiri suatu deret piringan yang dihubungkan oleh poros. Tabung motor roket dianggap sebagai massa yang uniform. Dalam pemodelannya tabung dibagi menjadi 4 bagian massa dan 3 bagian sebagai kekakuan kolom. Kemudian dianalisis pergerakannya dengan metode holzer.



Gambar 1. Struktur tabung roket RX320

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 2. Sistem torsi struktur tabung roket RX320

Dengan mengambil suatu frequensi ω dan amplitudo θ_1 = 1, torsi inersia dari piringan pertama adalah

$$-J_1\ddot{\theta}_1 = J_1\omega^2\theta_1 = J_1\omega^2 1 \text{ [8,12]}$$
.....(1)

Dimana getaran harmonik dilibatkan, torsi ini bekerja sepanjang poros 1 dan memuntir poros tersebut dengan

$$\frac{J_1\omega^2}{K_1} = \theta_1 - \theta_2 = 1 - \theta_2 \quad \text{atau}$$

$$\theta_2 = 1 - \frac{J_1\omega^2}{K_1}$$
.....(2)

Dengan θ_2 diketahui, maka torsi inersia pada piringan kedua dihitung sebagai $J_2\omega^2\theta_2$ jumlah torsi inersia pertama ini bekerja sepanjang poros K_2 dan menyebabkan puntiran sebesar :

$$\frac{J_1\omega^2 + J_2\omega^2\theta_2}{K_2} = \theta_2 - \theta_3$$
.....(3)

Dimana :
J_1 = momen inersia massa tabung roket
J_2, J_3, J_4 = momen inersia massa bagian dari tabung motor roket.

Dengan cara ini maka amplitudo dan torsi pada setiap piringan dapat dihitung.

Hasil torsi pada ujung terjauh adalah

$$T_{ext} = \sum_{i=1}^{n} J_i\omega^2\theta_i \text{.[7,10]}$$
.....(4)

Yang kemudian dapat digambarkan untuk ω yang dipilih. Dengan mengulang perhitungan untuk nilai ω yang lain, maka frequensi natural dapat diketahui, jika $T_{ext} = 0$, perpindahan sudut θ_i yang bersesuaian dengan frequensi natural adalah bentuk ragam

ISBN 978-602-73461-8-5

2.2. Kekakuan torsional tabung motor roket (K)

Kekakuan torsional dari material tabung motor roket dapat ditentukan dari kekuatan material yaitu :

$$\theta = \frac{M_t l}{JG} \text{ [7.8]} \quad \text{.....(5)}$$

Sedangkan k didefinisikan sebagai:

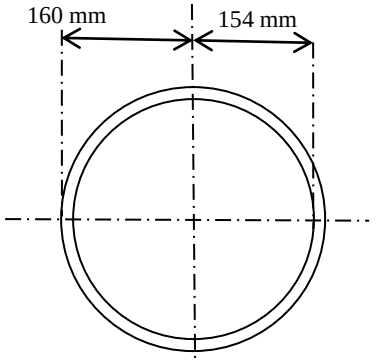
$$K = M_t/\theta \quad \text{.....(6)}$$

Atau dalam bentuk lain:

$$K = \frac{JG}{l} = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)G}{32l} \quad \text{.....(7)}$$

di mana :
d_i = Diameter dalam tabung roket
d_o = Diameter luar tabung roket
G = Modulus elastisitas geser dari tabung roket
l = Panjang tabung roket

2.3. Momen inersia dari tabung roket *(J)*



Gambar 3. Bentuk potongan dari tabung roket RX320

Momen inersia massa dari potongan tabung roket dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut.

$$J = \frac{1}{2} m\left(r_0^2 + r_i^2\right) \quad \text{.....(8)}$$

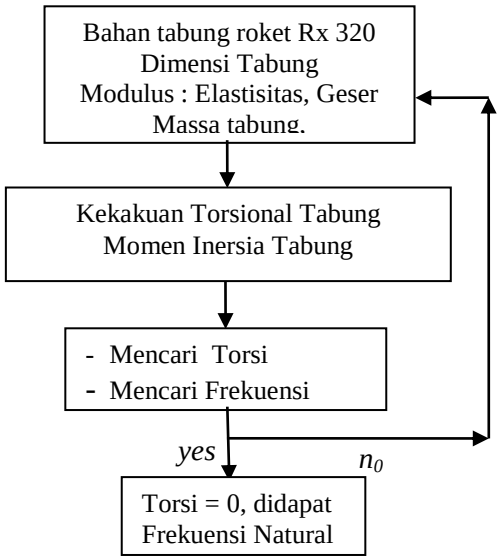
Dimana :
m = masaa tabung ; L = panjang ;

ISBN 978-602-73461-8-5

r_o = jari-2 luar dan r_i = jari-2 dalam

3. Metode

Penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik dinamik tabung motor roket RX 320. Hal yang dilakukan adalah mencari data tabung roket, kemudian menghitung kekakuan torsional, mmenghitung momen inersia massa dari tabung dan menghitung torsi, menghitung besarnya amplitudo. Skema kerja dalam penelitian ini digambarkan pada Gambar 4. di bawah ini.



Gambar 4. Skema kerja

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil

Data Tabung Roket RX 320 dengan bahan tabung stainless steel AISI 304 dengan dimensi d_i = 312 mm, d_o = 325 mm, L = 4320 mm, nilai E = 200 (GPa), nilai σ_{yield} = 5050 kg/cm^2, tebal (t) = 6,5 mm. Dari hasil uji statik didapat P = 60 kg/cm^2 m = 219,188 kg G = 8,6 E10 N/m^2

Perancangan Inersia Massa (J) dan Kekakuan Torsional Tabung (K).

Masing-2 Inersi massa tabung (J) dirancang dengan panjang 539,8 mm dengan berat m = 27,393 kg dan masing-masing kekakuan torsional poros tabung dirancang dengan Panjang l =720 mm

Menghitung besaran K dari tabung:

Dengan menggunakan persamaan (7) didapatkan:

$$K = \frac{\pi(0{,}325^4 - 312^4)8{,}6x10^{10}}{32(0{,}72)}$$

ISBN 978-602-73461-8-5

$K = 1{,}97\ 10^7\ N\,m/rad$

Menghitung momen inersia dari tabung roket *(J)* :
Dengan menggunakan persamaan (8) didapat :

$$J = \frac{1}{2}(27{,}393)\left(0{,}162^2 + 0{,}156^2\right)$$

$J = 0{,}695$ kg-m^2

Menghitung Tegangan Geser Pada Tabung
Untuk menghitung besar tegangan gesar pada tabung dugunakan persamaan :

$$\tau = \frac{16.J.G.\theta..d_o}{\pi(d_o^4 - d_i^4)l}$$

hasil perancangan didapat sudut puntir maksimum θ = 2,414^0 (lihat grafik 2), maka didapat : τ = 8,32 10^7 N/m^2

Tegangan geser yang dijinkan dari bahan tabung stainless steel AISI 304 sebesar $\bar{\tau}_s = \bar{\sigma}_t \big/ 2$ = 25 10^7 N/m^2 dan didapat

Safety Factor (SF) = $\frac{\tau_s}{\tau} = \frac{25x10^7}{8{,}32x10^7} = 3{,}00$

Menghitung Torsi dan amplitudo
Tabel 1 di bawah ini menyajikan hasil perhitungan torsi dan amplitudo

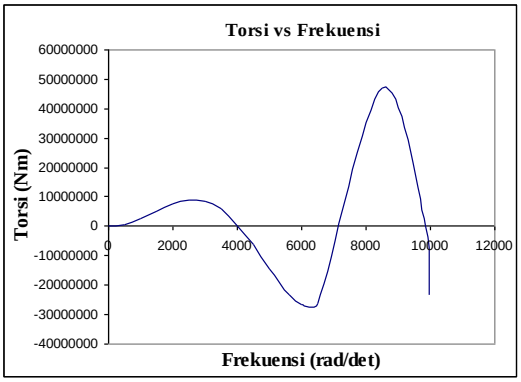
Tabel 1. Nilai torsi dan amplitudo tabung motor roket

Parameter Dari Sistim				
	Satuan 1	*Satuan 2*	*Satuan 3*	***Satuan 4***
	J_1 = 0,695	J_2 = 0,695	J_3 = 0,695	**J_4 = 0,695**
	K_1 = 1,97E7	K_2 = 1,97E7	K_3 = 1,97E7	**K_4 = 0**
Program Perhitungan				
ω	$\theta_1 = 1$	$\theta_2 = 1 - T_1 / K_1$	$\theta_3 = \theta_2 - T_2 / K_2$	$\theta_4 = \theta_3 - T_3 / K_3$
ω^2	$T_1 = \omega^2 \theta_1 J_1$	$T_2 = T_1 + \omega^2 \theta_2 J_2$	$T_3 = T_2 + \omega^2 \theta_3 J_3$	$T_4 = T_3 + \omega^2 \theta_4 J_4$
100	1	1	0,998	**0,998**
10000	6950	13897,55	20840	**27775,48**
400	**1**	**9.94e-1**	**0,9931**	**9,96e-1**
160000	**11200**	**221772**	**331092**	**4,39e+5**

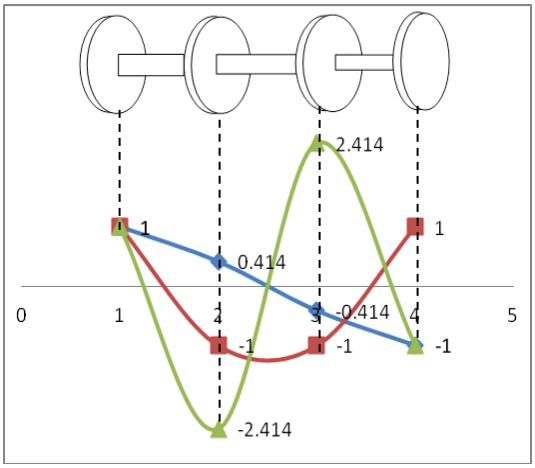
Dengan menggunakan perhitungan di atas dan bantuan program sederhana excel, maka didapatkan besaran frekuensi natural terhadap torsi akhir (T_4) dari struktur tabung roket Rx 320, seperti disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

ISBN 978-602-73461-8-5

4.2. Pembahasan



Gambar 5. Grafik torsi T_4 vs frekuensi natural tabung roket RX 320



Grafik 6. Grafik modus getar dari pada struktur tabung roket RX 320.

1. Dari Grafik 1, nampak hasil perhitungan frekuensi terhadap torsi akhir (T_4) dengan metode holzer , torsi T_4 adalah torsi sebelah kanan garis horizontal dari piringan tabung roket motor roket RX 320 yang harus nol pada frequensi natural. Dari hasil perhitungan dapat dilihat pada grafik 1 di atas, besar frequensi natural yaitu didapat pada saat $T_4 = 0$, yaitu : ω_1 = 4074,8 rad/detik, ω_2 = 7529,25 rad/detik dan ω_3 = 9837,43 rad/detik atau setara dengan $f_1 = \omega_1/2\pi$ = 648,85 Hz, f_2 = 1198,92 Hz dan f_3 = 1566,47 Hz.
2. Dari Grafik 2, sebuah sistem dengan 3 derajat kebebasan akan mempunyai 3 frekuensi natural. Bila getaran bebas terjadi pada salah satu frekuensi naturalnya maka hubungan yang pasti terjadi antara amplitude-amplitudo kedua koordinat dan konfigurasinya dinyatakan sebagai modus getar. Sumbu x, menyatakan sebagai jarak kedudukan dari tabung, sedangkan sumbu y adalah *displacement* (θ). Beberapa frekuensi disekitar $T_4 = 0$ yaitu ω_1 = 4074,8 rad/detik, ω_2 = 7529,25 rad/detik dan ω_3 = 9837,43 rad/detik. dimasukkan untuk mendapatkan nilai yang teliti dari bentuk ragam pertama, kedua dan

ISBN 978-602-73461-8-5

ketiga. Dan hasil perhitungan didapat nilai *displacement* 4 buah piringan (θ) pada frekuensi natural.

Tabel 2. Hasil perhitungan nilai *displacement* 4 buah piringan (θ)

ω_n	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4
4074,8	1	0.414	-0.41	-1
7529.25	1	-1	-1	1
9837,43	1	-2.41	2.414	-1

Jadi dalam ragam pertama, ketiga piringan bergerak tidak sefasa dan kekakuan torsi tetap tak teregang. Dalam ragam kedua, ketiga piringan bergerak sefasa dan kekakuan torsi tetap tak teregang. Dalam ragam ketiga, ketiga piringan bergerak berlawanan dan kekakuan torsional terlibat secara aktif dengan suatu simpul di titik tengahnya akibatnya frekuensi naturalnya lebih tinggi.

3. Faktor Keamanan (*safety factor*) adalah faktor yang digunakan untuk méngevaluasi agar perencanaan suatu struktur engineering terjamin keamanannya dengan dimensi yang minimum**.** Menurut *Dobrovolsky (machine element)* faktor keamanan - *safety Factor* berdasarkan jenis beban adalah:
   a. Beban statis : 1,25 – 2
   b. Beban Dinamis : 2 – 3
   c. Beban Kejut : 3 – 5

   Faktor keamanan untuk materilal roket padat antara 1,0 – 1,8 [11], berdasarkan data diatas untuk perancangan tabung roket RX 320 akibat beban torsi dengan faktor keamanan (sf) = 3,00 tabung cukup aman.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian terhadap frekuensi natural tabung roket RX 320 LAPAN dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Besarnya frekuensi natural untuk roket RX 320 LAPAN dengan menggunakan metode Holzer adalah f_1 = 648,85 Hz, f_2 = 1198,92 Hz dan f_3 =1566,47 Hz.
2. Pada saat nilai $\omega_3 = f_3$ = 1566,47 Hz, struktur tabung roket mempunyai *displacement* dan modus getar yang paling kritis dan tidak berada dalam satu fasa. Sedangkan untuk frekuensi natural $f_1 = \omega_1/2\pi$ = 648,85 Hz, f_2 = 1198,92 Hz, struktur tabung roket mempunyai modus getar yang tidak fluktuatif walaupun tidak berada dalam satu fasa dan *displacement* (θ) tidak besar.
3. Untuk ketiga nilai frekuensi natural yaitu f_1 = 648,85 Hz, f_2 =1198,92 Hz dan f_3 = 1566,47 Hz, keadaan struktur tabung motor roket RX 320 masih aman. Untuk nilai frekuensi terbesar yaitu f_3 = 1566,47 Hz, dengan sudut puntir θ = 2,414^0 tegangan geser yg terjadi sebesar τ = 8,32 10^7 N/m^2 dengan safety factor untuk (SF) untuk tabung adalah = 3,00, cukup aman.

Daftar Pustaka

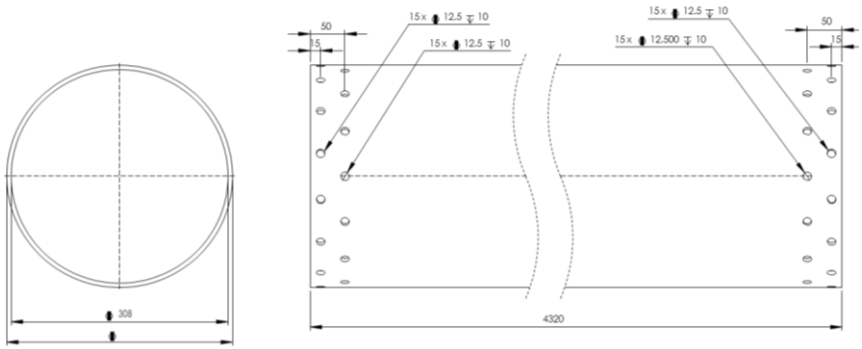
[1] Kuinian Li, Mitchell Gohnert., 2010 " Lever mechanism for vibration isolation " Peer-reviewed & Open access journal ISSN: 1804-1191 | www.pieb.cz ATI – Applied Technologies & Innovations Volume 1 | Issue 1 | April 2010.

ISBN 978-602-73461-8-5

[2] Hamisn R Hamidzadeh, Reza N Jazar Vibration of Thick Cylindrical
[3] Y. Chen, J. Zhang, H. Zhang, X. Li, J. Zhou., 2015, Extraction of Natural Frequencies and Mode Shapes of Rotating Beams by Variational Iteration Method, *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, ICASS 2015, (21-24 July 2015) Lisbon Portugal.
[4] A. Rezaiguiaa, D.F. Laeferb, 2009, Semi-analytical determination of natural frequencies and mode shapes of multi-span bridge decks, *Journal of Sound and Vibration*, 328 (3): 291-300
[5] Tadej Kranjc, Janko Slaviˇc &, Miha Bolteˇzar, 2013, The mass normalisation of the displacement and strain mode shapes in a strain experimental modal analysis using the mass-change strategy, *Journal of Sound and Vibration*, Volume 332, December 2013.
[6] Luke Voss, Tony Allais, Sean King, Jeff Parkins 2009, *Plans and Specifications of A Suborbital Rocket Payload*, AKPV Engineering University of Wyoming.
[7] J. Crocker., 2007, *Handbook of Noise and Vibration Control*., John Wiley & Sons.
[8] Chi Chung Huang, Chien-Ching Ma. 2000, Experimental Measurement of Mode Shapes and Frequencies for Vibration of Plates by Optical Interferometry Method, *Journal of Vibration and Acoustics*, Volume 123.
[9] Prahalad. N. Tengli., 2011, A Study On Vibration Problems Of Solid Propellant Rocket Motor, *Mechanical Engineering*, PES Institute of technology, Bangalore.
[10] Structural Design Requirements And Factors of Safety For Spacef Light Hardware. - 2011 (https://ntrs.nasa.gov/archive/.../20110023499.pdf) *by KS Bernstein.*
[11] Dr. T. H. G. Megson, 1996, *Structural and Stress Analysis*, First published in Great Britain by Arnold.

Lampiran

Tabung Motor Roket RX 320



Dimensi Tabung Motor Roket RX 320

ISBN 978-602-73461-8-5

Pengaruh Konsentrasi *Bombyx Mori Silk Fiber* Terhadap Kekuatan Fleksural *Fiber Reinforced Composite Bone Graft*

Muhammad Kusumawan Herliansyah[1], Rifki Moechtar[2], Siti Sunarintyas[2]
[1]Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2 UGM Yogyakarta 55281
Telp. +62-274-521673
[2]Program Magister Ilmu Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Gadjah Mada
Jl.Denta 1, Sekip Utara,Yogyakarta 55281
Telp. +62-274-515307
E-mail: herliansyah@ugm.ac.id

Intisari

Bone graft digunakan untuk membantu proses penyembuhan tulang yang mengalami kerusakan akibat trauma maupun penyakit. Bone graft dapat terbuat dari fiber reinforced composite (FRC) yang dibuat menyerupai sifat tulang. Fiber reinforced composite tersusun atas matriks polimer dengan filler hidroksiapatit yang diperkuat oleh fiber. Silk fiber ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan fleksural dan sifat osteokonduktif. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh konsentrasi silk fiber terhadap kekuatan fleksural FRC Bone Graft. Sampel dibuat menggunakan resin bis-GMA/TEGDMA/UDMA (CharmFil®, DenKist, Korea), hidroksiapatit (Lab. Biokeramik, DTMI UGM) dan silk fiber (Perhutani, Pati) dengan tiga kelompok variasi yang mengandung konsentrasi silk fiber berbeda yaitu 1%, 5% dan 10%. Kekuatan fleksural FRC Bone Graft diuji dengan 3-point bending test mengacu pada ISO 10477. Hasil penelitian menunjukkan kekuatan fleksural tertinggi dimiliki oleh FRC silk fiber 10% sebesar 85,01±7,71 MPa dan terendah pada FRC silk fiber 1% sebesar 61,21±8,43 MPa. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penambahan silk fiber pada konsentrasi 10% meningkatkan kekuatan fleksural pada FRC.

Kata kunci: konsentrasi silk fiber, kekuatan fleksural, fiber reinforced composite, bone graft

1. Pendahuluan

Kerusakan pada tulang menyebabkan terjadinya penurunan fungsi tulang dan kualitas hidup penderita (Drosse, *et al*., 2008). Kerusakan tulang dibidang kedokteran gigi sering terjadi pada area maksilofasial yang diakibatkan oleh trauma, tindakan bedah, proses resorpsi pada penyakit periodontal (Chandrashekar dan Saxena, 2009), infeksi dan tumor ameloblastoma (Kahairi, *et al*., 2008). Fraktur maksilofasial umumnya terjadi pada tulang wajah seperti mandibula. Proses penyembuhannya sering kali membutuhkan bahan penambah (*filler*) seperti *bone graft* untuk membantu proses penyembuhan tulang (Drosse, *et al*., 2008).

Bone graft dapat diperoleh dari jaringan keras pasien itu sendiri (*autograft*), menggunakan jaringan keras dari donor (*allograf*) dan dari spesies lain yang telah diproses (*xenograft*). Namun ketiga jenis *bone graft* tersebut mempunyai kekurangan seperti: jumlah

ISBN 978-602-73461-8-5

jaringan yang dapat diambil sangat terbatas, potensi terjadinya penolakan, potensi menimbulkan alergi dan resiko penyebaran penyakit (Mandal, *et al*., 2012). Berbagai kelemahan tersebut mendorong munculnya jenis *bone graft* sintetik. Melalui proses manufaktur, *bone graft* sintetik dapat memberikan keuntungan antara lain bebas dari resiko infeksi, kuat menyerupai tulang manusia, lebih cepat dalam mendukung mobilisasi pasien, perawatan pasca operasi yang lebih singkat, ketersediaan dan kualitas yang reliabel serta pertumbuhan tulang lebih dapat diprediksi (Zimmermann dan Moghaddam, 2011). *Fiber reinforced composite* (FRC) merupakan salah satu alternatif material yang telah digunakan sebagai *bone graft* sintetik.

Fiber reinforced composite dapat dibuat menyerupai karakteristik tulang dengan cara memodifikasi komponen penyusunnya seperti matriks, jumlah *fiber*, tipe *fiber*, orientasi dan panjang *fiber* (Matilla, 2009). Matriks polimer yang sering digunakan pada FRC adalah *bis-glycidyl-A-dimethacrylate* (Bis-GMA), *triethylene glycol dimethacrylate* (TEGDMA) dan *urethandimethacrylate* (UDMA) seperti diungkapkan oleh Vallitu (2017). Kekurangan matriks polimer adalah sifat bioaktifnya yang rendah (Zhang dan Darvel, 2012), sehingga memerlukan tambahan material lain seperti Hydroxyapatite agar dapat digunakan sebagai *bone graft*.

Kekuatan mekanis FRC dapat ditingkatkan dengan menambahkan *fiber* (Fonseca, *et al.*, 2014). *Silk fiber* merupakan polimer alami yang tersusun atas protein sericin dan fibroin dan diketahui memiliki kekuatan mekanis yang tinggi. Kekuatan mekanis *silk fiber* berasal dari asam amino penyusun protein *silk fiber*. Asam amino fasa kristalin fibroin yang dominan seperti *glycine* (*Gly*), *alanine* (*Aly*) dan *serine* (*Ser*) membentuk struktur β-*sheet* yang memberikan kekuatan mekanis pada *silk fiber* (Zafar dan Al-Samadani, 2014). Penambahan *silk fiber* diharapkan menghasilkan FRC dengan kekuatan fleksural yang lebih baik.

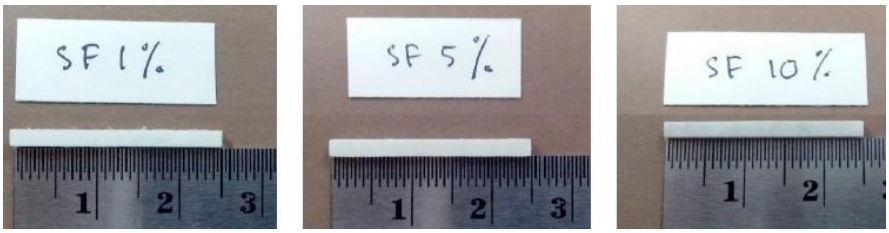
Kekuatan mekanis FRC merupakan salah satu faktor yang dibutuhkan dalam *bone graft*. *Bone graft* pada tulang mandibula akan mengalami berbagai jenis pembebanan seperti tarik dan tekan (Wong, *et al*., 2010), sehingga perlu dilakukan pengujian terhadap kekuatan mekanis FRC. Uji kekuatan fleksural merupakan uji yang meliputi pembebanan tekan dan tarik pada komposit (Bundela dan Bajpai, 2008). Kekuatan fleksural FRC dipengaruhi oleh jumlah *fiber*, semakin besar konsentrasi *fiber* akan meningkatkan kekuatan fleksural komposit (Fonseca, *et al.*, 2014). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi *silk fiber* terhadap kekuatan fleksural FRC yang digunakan sebagai *bone graft* pada mandibula.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan serbuk *bovine* hidroksiapatit (Lab. Biokeramik, Departemen Teknik Mesin dan Industri UGM) sebagaimana disiapkan Herliansyah, et al. (2009). *Bombyx mori silk fiber* (Perhutani, Pati) dengan panjang 2 mm, resin komposit *flowable* (CharmFil®, DentKist). Berdasarkan penelitian pendahuluan, spesimen disiapkan dengan konsentrasi *silk fiber* 1%, 5% dan 10%. Seluruh bahan dicampur dan diaduk secara manual hingga homogen dan selanjutnya dimasukkan ke dalam cetakan berukuran 25 mm x 2 mm x 2 mm[15]. Proses polimerisasi dilakukan dengan bantuan sinar LED masing-masing selama 60 detik pada bagian atas dan bawah sampel. Sampel dikeluarkan dari cetakan dan dirapihkan dengan kertas amplas 1500 grit, kemudian direndam selama 24 jam dalam aquades sebelum

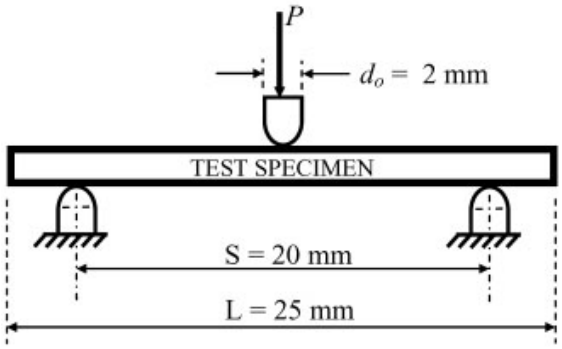
ISBN 978-602-73461-8-5

dilakukan uji kekuatan fleksural. Contoh spesimen yang akan diuji kekuatan fleksural ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spesimen uji kekuatan fleksural *Fiber Reinforced Composite Bone Graft* yang diperkuat *Bombyx Mori Silk Fiber*

Pengujian kekuatan fleksural dilakukan dengan *3-point bending test* menggunakan *Universal Testing Machine* dengan kecepatan 1 mm/menit (ISO 10477, 2004) seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Data hasil pengukuran selanjutnya diperhitungkan menggunakan Persamaan 1.

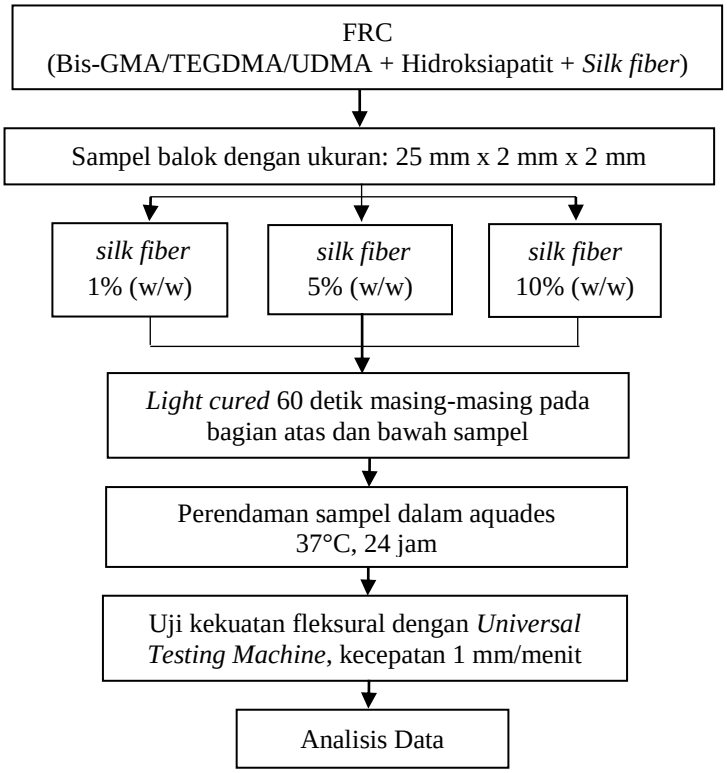


Gambar 2. Skema pengujian kekuatan fleksural (Chung dkk., 2004).

$$\sigma = (3P.L)/(2b.d^2) \quad \text{..... (1)}$$

dengan: σ = kekuatan fleksural (MPa), P = beban maksimal yang diberikan sebelum patah (N), L = jarak antara kedua penyangga (mm), b = lebar sampel (mm) dan d = tebal sampel (mm). Selanjutnya dilakukan analisis statistik ANAVA satu jalur. Keseluruhan proses tersebut ditampilkan pada Gambar 3.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 3. Skema alur penelitian

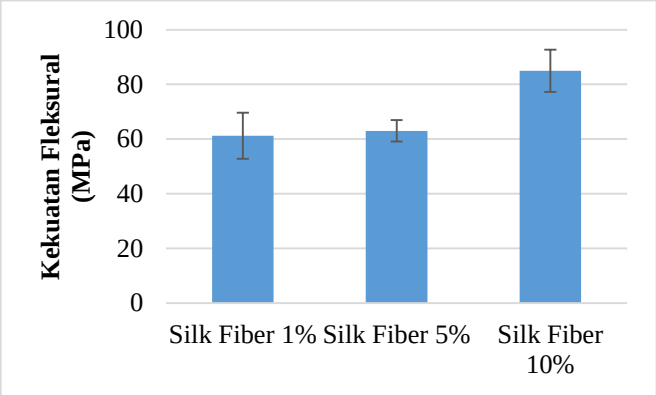
3. Hasil dan Pembahasan

Kemajuan teknologi telah memungkinkan manusia untuk merekayasa berbagai material sesuai dengan tujuan. Kombinasi dari berbagai macam material dapat menghasilkan material baru dengan sifat yang lebih unggul. Salah satu material tersebut adalah FRC yang telah digunakan sebagai *bone graft* (Tuusa, 2007). *Fiber reinforced composite* pada penelitian ini dibuat dengan menggabungkan *Bombyx mori silk fiber*, hidroksiapatit dan resin berbasis Bis-GMA/TEGDMA/UDMA. Hasil pengujian kekuatan fleksural FRC ditampilkan pada Tabel 1 dan Gambar 4. Secara umum terlihat adanya peningkatan kekuatan fleksural dengan semakin bertambahnya konsentrasi *silk fiber*. FRC dengan kandungan *silk fiber* 10% memiliki kekuatan fleksural paling tinggi dan FRC *silk fiber* 1% dan 5% memiliki kekuatan fleksural yang tidak jauh berbeda dan lebih rendah dari FRC dengan 10% *silk fiber*.

Tabel 1. Rerata dan standar deviasi kekuatan fleksural (MPa) FRC

Kelompok	Kekuatan fleksural (MPa) Rerata ± s.d
FRC *silk fiber* 1%	61,21 ± 8,43
FRC *silk fiber* 5%	62,97 ± 3,92
FRC *silk fiber* 10%	85,01 ± 7,71

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 4. Perbandingan kekuatan fleksural FRC dengan konsentrasi *silk fiber* berbeda

Selama proses pembebanan, matriks menerima tekanan lebih dulu dan selanjutnya diteruskan kepada *fiber*. Beban yang diterima oleh FRC dapat terjadi pada bagian matriks yang tidak didukung oleh *fiber*. Beban yang terjadi pada area tersebut tidak dapat disalurkan ke *fiber* dan ditanggung oleh matriks yang merupakan bagian terlemah dari FRC sehingga menurunkan kekuatan mekanis. *Silk fiber* sebagai material penguat memiliki kekuatan mekanis yang berasal dari struktur *β-sheet* yang terdapat dalam fibroin. Asam amino seperti *glycine, alanine, serine, tyrosine, valine* dan *threonine* dapat terorganisir membentuk struktur *β-sheet* melalui ikatan hidrogen, ikatan hidrofobik dan van der Waals (Koh, *et al.*, 2015). Peningkatan konsentrasi *silk fiber* akan meningkatkan jumlah asam amino yang menyusun *β-sheet*, sehingga dapat memberikan kekuatan mekanis pada FRC.

Salah satu faktor yang mempengaruhi proses regenerasi dan remodeling tulang adalah stimulasi mekanis seperti diungkapkan oleh VanGaalen, *et al.*, 2008). Material yang keras seperti logam dapat menyerap tekanan dan stimulasi mekanis pada tulang tidak terjadi, sehingga terjadi proses resorpsi tulang. Material pengganti jaringan tulang harus dirancang untuk memiliki kekuatan mekanis yang sesuai dengan tulang. Rerata kekuatan fleksural tertinggi pada penelitian ini adalah 85,01 MPa yang dimiliki oleh FRC dengan *silk fiber* 10%. Kekuatan fleksural tersebut masih lebih rendah dari kekuatan fleksural bagian *compact* dari tulang mandibula sebesar 159,8 MPa (Vittin, *et al.*, 2003).

Kekuatan fleksural FRC pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan FRC hasil dari beberapa penelitian lain. Aitasalo dkk. (2014) meneliti FRC untuk defek *craniofacial* yang terdiri atas *bioactive glass*, matriks Bis-GMA/TEGDMA dan *E-glass fiber* yang telah diberi *coupling agent* (Aitasalo, *et al.*, 2013). Hasil penelitian menunjukkan FRC memiliki kekuatan fleksural sebesar 420 MPa dan ketahanan fraktur yang tinggi (Aitasalo, *et al.*, 2013). Penelitian FRC sebagai material rekonstruksi defek tulang oleh Hautamäki dkk. (2008) menghasilkan kekuatan fleksural sebesar 320 MPa. *Fiber reinforced composite* menggunakan PMMA sebagai matriks dan *E-glass fibe*r dan diimpregnasi dengan PMMA (Hautamäki, *et al.*, 2008).

Kekuatan fleksural FRC pada penelitian ini berada dibawah *bone graft* komersial berbasis polimer. Cortoss® merupakan *bone graft* yang terdiri atas 33% Bis-GMA dan 67% *bioactive glass* (Campana, *et al.*, 2014). Penelitian Boynd dkk. (2008) menyatakan Cortoss® memiliki kekuatan fleksural 96 MPa. Kekuatan fleksural yang tinggi kemungkinan

ISBN 978-602-73461-8-5

diakibatkan karena pencampuran polimer dan *filler* dilakukan dengan alat *mixing*/*extruder* sebagaimana terjadi pada penelitian MacDonald, *et al.*, (2007), sehingga material dapat tercampur homogen sedangkan pada penelitian ini pencampuran material dilakukan secara manual yang kemungkinan dapat mengakibatkan campuran yang tidak homogen. Hasil penelitian menunjukkan *silk fiber* memiliki potensi sebagai material *reinforced* pada FRC yang digunakan untuk *bone graft*. Penelitian lanjutan masih diperlukan untuk mendapatkan konsentrasi *silk fiber* yang optimal agar kekuatan fleksural yang dihasilkan sesuai dengan tulang mandibula. Penggunaan *coupling agent* dapat dipertimbangkan sebagai salah satu cara untuk mendapatkan kekuatan fleksural yang lebih tinggi. Penelitian tentang kemampuan FRC untuk terdegradasi perlu dilakukan karena material *bone graft* diharapkan memiliki kemampuan degradasi seiring proses regenerasi tulang berlangsung.

4. Kesimpulan dan Saran

Konsentrasi *silk fiber* berpengaruh terhadap kekuatan fleksural FRC, semakin tinggi konsentrasi *silk fiber* maka kekuatan fleksural juga akan semakin meningkat. *Fiber reinforced composite* dengan kandungan *silk fiber* 10% memiliki kekuatan fleksural tertinggi yaitu 85,01 MPa namun masih berada di bawah kekuatan fleksural tulang mandibula sebesar 159,8 MPa.

Daftar Pustaka

Aitasalo KMJ, Piitulainen JM, Rekola J & Vallittu PK. Craniofacial bone reconstruction with bioactive fiber-reinforced composite implant, Head and Neck. 2013: 722-728.

Boyd D, Towler MR, Wren A & Clarkin OM. Comparison of an experimental bone cement with surgical Simplex® P, Spineplex® and Cortoss®, J Mater Sci: Mater Med. 2008; 19: 1745-1752.

Bundela H & Bajpai AK. Designing of hydroxyapatite-gelatin based porous matrix as bone substitute: correlation with biocompatibility aspect, Express Polimer Letters. 2008; 2(3): 201-213.

Campana V, Milano G, Pagano E, Barba M, Cicione C, Salonna G, Lattanzi W & Logroscino G. Bone substitute in orthopaedic surgery: From basic science to clinical practice, J Mater Sci: Mater Med. 2014; 25: 2445-2461.

Chandrashekar K. & Saxena C. Biograft-HT® as a bone graft material in the Treatment of periodontal vertical defect and its clinical and radiological evaluation: clinical study, J. Indian Soc. Periodontal. 2009; 13(3): 138-144.

Chung, S., M., Yap, A.U.J., Chandra, S.P., dan Lim, C.T., 2004, Flexural Strength of Dental Composite Restoratives: Comparison of Biaxial and Three-Point Bending Test, Willey InterScience, p. 278-283.

Drosse I, Volkmer E, Capanna R, De Biase P, Mutschler W & Schieker M. Tissue engineering for bone defect healing: an update on multi-componenet approach, Injury, Int. J. Care Injured. 2008; 39S2: S9-S20.

Fonseca RB, Marques AS, Bernades KO, Carlo HL & Naves, LZ. Effect of glass fiber incorporation on flexural properties of experimental composite, Biomed Research International. 2014: 1-6

Hautamäki MP, Aho AJ, Alander P, Rekola J, Gunn J, Stranberg N & Vallittu PK. Repair of bone segment defect with surface porous fiber-reinforced polymethyl methacrylate

ISBN 978-602-73461-8-5

(PMMA) composite prothesis: Histomorphometric incorporation model and characterization by SEM, Acta Orthopaedica. 2008; 79: 4, 555-564.

Herliansyah MK., Hamdi M, Ide-Ektessabi A, Wildan MW & Toque JA. The influence of sintering temperature on the properties of compacted bovine hydroxyapatite, Materials Science and Engineering C. 2009; 29: 1674-1680.

ISO 10477. Dentistry-polymer based crown and bridge materials, Switzerland, ISO. 2004.

Kahairi A, Ahmad RL, Wan IL & Norra H. Management of mandibular ameloblastoma a case report and literature review, Archieves of Orofacial Science. 2008; 3 (2): 52-55.

Koh LD, Cheng Y, Teng CP, Khin YW, Loh XJ, Tee SY, Low M, Ye E, Yu HD, Zhang YW & Han MY. Structures, mechanical properties and applications of silk fibroin materials, Progress in Polymer Science. 2015; 46, 86-110.

MacDonald K, Price RB & Boyd D. The feasibility and functional performance of ternary borate-filled hydrophilic bone cements: Targeting therapeutic release thresholds for strontium, J Funct Biomater. 2007; 8, 1-18.

Mandal BB, Grinberg A, Gil ES, Panilaitis B & Kaplan DL. High-strength silk protein scaffold for bone repair, PNAS. 2012; 109(20): 7699-7704.

Matilla R. Non-resorbable glass fiber-reinforced composite with porous surface as bone substitue material, Thesis, 2009, University of Turku.

Tuusa S. Development of craniofacial bone defect reconstruction implant based on fiber-reinforced composite with photopolymerisable resin system, Thesis, 2007, University of Turku, Finland.

Vallittu PK. Bioactive glass-containing cranial implants: An overview, J Mater Sci. 2017; 52: 8772-8784.

Van Gaalen S, Kruyt M, Meijer G, Misty A, Mikos A, van den Beucken J, Jansen J, de Groot K, Cancedda R, Olivio C, Yaszemki M & Shert W. Tissue engineering of bone, San Diego, Elsevier. 2008; 560-567.

Vittin V, Dobelis M, Middleton J, Limbert G & Knets I. Flexural and creep properties of human jaw compact bone for FEA studies, Computer Method in Biomechanic and Biomedical Engineering. 2003; 6: 5-6, 299-303.

Wong RCW, Tideman HL & Kin MAW. Biomechanics of mandibular reconstruction: A review, Int. J. Oral Maxillofac. Surg. 2010; 39: 313-319.

Zafar MS & Al-Samadani KH. Potential use of natural silk for bio-dental applications, Journal of Taibah University Medical Sciences. 2014; 9(3): 171-177.

Zhang H & Darvel BW. Mechanical Properties of hydroxyapatite whisker reinforced bis-GMA resin composite, Dental Material. 2012; 28: 824-830.

Zimmermann G & Moghaddam A. Allograft bone matrix versus synthetic bone graft substitute, Injury. 2011; 42 (SUPPL.2): S16-S21.

ISBN 978-602-73461-8-5

Penentuan Faktor dan Level Faktor Proses Keramik *Tableware* Untuk Mengurangi Cacat *Pinhole* Menggunakan *Response Surface Methodology*

Vincentius Chrisaldy Susanto[1], Hari Adianto[2], Cherish Rikardo[3].
[1,3)] Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri, Universitas Katolik Parahyangan
Jl. Ciumbuleuit 94, Bandung 40141
Email: vincentiuscs1@gmail.com, cherish@unpar.ac.id
[2)] Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional
Jl. PH. H. Mustofa 23, Bandung 40141
Email: hari@itenas.ac.id

Intisari

Penggunaan material lempung Sukabumi dapat dijadikan alternatif sebagai bahan baku pembuatan keramik. Menurut pihak Balai Besar Keramik kualitas keramik berglasir di Indonesia masih mempunyai tingkat kecacatan sifat tampak yang tinggi. Salah satunya adalah cacat pinhole yang ada pada permukaan keramik tableware. Cacat pinhole ini termasuk ke dalam cacat yang memberikan kerugian ekonomis paling tinggi, karena keramik yang memiliki cacat pinhole tidak dapat dijual. SNI kualitas sifat tampak keramik tableware tertuang dalam SNI 7275:2008 tentang Keramik Berglasir-Tableware-Alat Makan dan Minum dan SNI ISO 10545-2:2010 tentang ubin keramik-bagian 2: penentuan dimensi dan mutu permukaan. Pada SNI tersebut standar sifat tampak permukaan keramik tableware adalah tidak boleh ada cacat pinhole yang berdiameter > 0,1 mm dan 95% dari luas permukaan keramik tidak boleh terdapat cacat pinhole. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Response Surface Methodology (RSM). Dengan menggunakan metode RSM ini, dapat diketahui kombinasi level faktor proses pembuatan keramik tableware yang memenuhi standar kualitas permukaan yang ada di SNI. Dari hasil penelitian ini, faktor yang memberi pengaruh secara signifikan terhadap kualitas permukaan keramik tableware adalah lama waktu pembakaran keramik berglasir, suhu pembakaran keramik berglasir, dan cara pengglasiran. Level faktor yang diusulkan adalah waktu pembakaran glasir selama 0,39 jam, suhu pembakaran glasir sebesar 1286,210C, dan cara pengglasiran dengan dikuas. Dari hasil implementasi terhadap usulan level faktor, dapat diketahui bahwa nilai rata-rata respons hasil percobaan konfirmasi adalah 95% dari luas permukaan keramik tidak memiliki cacat yang tampak ke permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa level faktor yang diusulkan, mampu memenuhi kualitas SNI permukaan keramik tableware.

Kata kunci: Keramik, pinhole, response surface methodology (RSM), ANOVA, orthogonal array, first order model, second order model, contour and surface plot.

ISBN 978-602-73461-8-5

1. Pendahuluan

Saat ini perkembangan industri Indonesia mulai meningkat seiring dengan perkembangan teknologi yang pesat. Menurut laporan berita harian Kompas 17 Maret 2016 "Soal Industri Keramik, Indonesia Terbesar Ke-6 Dunia" (Alexander, 2016), diketahui bahwa Indonesia menduduki peringkat keenam dalam industri keramik di dunia. Hal ini membuktikan bahwa perkembangan industri keramik di Indonesia berkembang pesat dan dipandang oleh mata dunia. Salah satu strategi yang dianggapnya dapat menjaga pertumbuhan pasar industri keramik adalah dengan menggencarkan penerapan Standar Nasional Indonesia (SNI).

Kualitas dari sebuah bahan baku keramik memiliki berbagai macam variabel yang mempengaruhi respons dari produk tersebut. Banyaknya faktor yang mempengaruhi kualitas dari produk akhir keramik ini, membuat industri bahan keramik perlu melakukan penelitian untuk menjamin kualitas hasil produksinya. Penelitian terhadap proses pembuatan produk keramik ini dilakukan untuk mendapatkan faktor dan level faktor yang baik dalam pembuatannya.

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Balai Besar Keramik didapatkan bahwa kualitas keramik berglasir di Indonesia masih mempunyai tingkat kecacatan sifat tampak yang tinggi. Salah satu bahan keramik berglasir adalah keramik *tableware*. Keramik tableware adalah keramik perlengkapan meja yang digunakan untuk alat makan dan minum. Keramik *tableware* ini sangat dibutuhkan perlakuan yang sangat hati-hati, karena menyangkut dengan makanan dan minuman yang masuk ke dalam tubuh manusia. Jika terjadi kesalahan dalam pembuatan produk *tableware* dapat merugikan kesehatan manusia.

Pemerintah Indonesia melalui kementrian perindustrian mengeluarkan Standar Nasional Indonesia mengenai standar keramik *tableware*. SNI keramik *tableware* yang akan ditetapkan tertuang dalam SNI 7275:2008 tentang Keramik Berglasir-*Tableware*-Alat Makan dan Minum. Penerapan SNI secara wajib ini dimaksudkan untuk mengoptimalkan penerapan SNI keramik tableware guna meningkatkan mutu hasil industri, melindungi konsumen, dan sekaligus untuk menciptakan persaingan usaha yang sehat, dan adil.

Dalam mewujudkan produksi keramik tableware yang memenuhi SNI dari pemerintah, maka diperlukan penelitian mengenai identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas dari keramik *tableware*. Faktor-faktor yang diidentifikasi ini akan membuat kualitas produk keramik tableware meningkat dan mengurangi biaya produksi untuk memproduksi keramik *tableware* yang gagal memenuhi standar SNI.

Produk *tableware* memiliki beberapa standar yang harus dicapai diantaranya adalah sifat tampak visual, kekerasan permukaan glasir, ketahanan kejut suhu, tingkat penyerapan air, ketahanan pukul, dan kelarutan Pb & Cd. Setiap standar tersebut harus dipenuhi oleh sebuah keramik tableware agar dapat dikatakan mempunyai kualitas yang baik. Jika salah satu syarat tidak dapat dipenuhi maka produk tersebut tidak layak untuk dipakai. Standar sifat-sifat tampak *tableware*

ISBN 978-602-73461-8-5

yang ada pada SNI 7275:2008 mengenai Keramik Berglasir-*Tableware*-Alat Makan dan Minum adalah tidak ada noda, lubang jarum (*pinhole*) >= 0,1 mm, gelembung udara, retak, dan glasir mengelupas (glasir harus menutupi semua permukaan).

Saat ini Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, khususnya Balai Besar Keramik, masih mengalami kendala yaitu masih belum ada standar proses yang menjamin peningkatan mutu dalam pembuatan keramik berglasir untuk memenuhi standar sifat tampak. Selain itu, pihak Balai Besar Keramik sedang melakukan pengembangan bahan baku keramik yang berbahan baku lempung Sukabumi.

Pada penelitian ini akan dilakukan perbaikan kualitas sifat tampak pada satu jenis cacat yang paling berdampak bagi nilai ekonomis keramik berglasir. Penilaian aspek ekonomis dari setiap cacat yang ada dinilai oleh seorang *expert* di bidang keramik. *Expert* yang ada dalam penelitian ini adalah seorang peneliti keramik dari pihak Balai Besar Keramik dan seorang operator yang berpengalaman dalam bidang keramik selama 20 tahun. Hasil penilaian yang dilakukan oleh expert untuk setiap jenis cacat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penilaian bobot kepentingan jenis cacat

No.	Jenis Kerusakan	Bobot Penilaian
1	*Dent*	4
2	*Pinhole*	7
3	*Color different*	2
4	*Crack/Crazing*	5
5	*Lamination/Peeling*	4
6	*Warpage/Crawling*	6
7	Lain-lain	1

Berdasarkan Tabel 1, dapat diketahui bahwa dari hasil pembobotan menunjukkan bahwa nilai yang paling tinggi berada pada cacat pinhole. Hal ini dikarenakan menurut *expert*, cacat *pinhole* ini berpengaruh besar terhadap nilai ekonomis keramik *tableware*. Cacat *pinhole* menyebabkan penurunan tingkat kehigienisan produk *tableware*. Sementara itu, cacat *dent*, *color different* diberi bobot kecil karena walaupun terdapat lekukan ataupun perubahan warna keramik tersebut masih dapat dijual. Oleh karena itu, penelitian ini akan berfokus pada perbaikan kualitas sifat tampak dari keramik *tableware* dengan mengurangi cacat *pinhole*.

Pada penelitian ini akan dilakukan perbaikan kualitas sebelum produksi dimulai, dan difokuskan pada pengendalian kualitas secara preventif. Usaha perbaikan akan diterapkan pada parameter-parameter yang dapat mempengaruhi proses produksi. Perbaikan kualitas secara *offline* terhadap keramik berglasir untuk bahan-bahan keramik tableware perlu dilakukan rancangan desain eksperimen.

Salah satu metode yang dapat digunakan adalah *Response Surface Model* (RSM). *Response Surface Model* (RSM) adalah rangkaian teknik statistik dan matematik yang

ISBN 978-602-73461-8-5

berguna dalam pengembangan, peningkatan, dan optimasi proses. Melalui pendekatan RSM ini, hasil desain eksperimen akan memberikan hasil yang efektif dan memberikan output yang paling optimum. Dalam penelitian kali ini, metode *Response Surface Model* diharapkan mampu memberikan parameter atau faktor yang menghasilkan kondisi proses yang bersifat *robust*. Sehingga seluruh proses pembuatan keramik baik di industri kecil maupun industri besar dapat menghasilkan produk keramik tableware berkualitas baik.

2. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *response surface methodology*. Metode ini mencakup tahap *screening experiment, first order model, second order model,* dan percobaan konfirmasi. Pada tahap *screening experiment* digunakan metode Taguchi untuk mengetahui faktor yang berpengaruh signifikansi terhadap respon.

Setelah didapatkan faktor yang memberi pengaruh signifikan terhadap respons maka dilanjutkan dengan pembuatan *first order model* dengan metode regresi linear. Jika hasil dari persamaan order pertama memiliki performansi yang buruk maka dilanjutkan ke *second order model.* Persamaan orde dua memiliki derajat polinom lebih tinggi dan menggunakan metode *central composite design*. Jika *second order model* sudah dapat menggambarkan sistem dengan baik maka dilakukan pencarian titik optimum dengan penggambaran *contour plot* dan *surface plot.*

Setelah menemukan titik optimumnya maka dilakukan percobaan konfirmasi untuk mengetahui apakah hasil dari usulan desain eksperimen berhasil memberikan produk keramik yang sesuai dengan SNI.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Penentuan Variabel Respons

Respons ini dijadikan sebagai indikator bahwa sistem yang dirancang dapat dinilai baik atau buruk. Dalam penelitian ini dipilih respons persentase cacat pada permukaan keramik berglasir. Standar yang ada pada SNI 7275:2008 dapat dilihat pada Tabel 2.

Pada SNI 7275:2008 tentang keramik berglasir-*tableware*-alat makan dan minum, tidak didapati ketentuan persentase minimum cacat permukaan keramik. Kekurangan dalam standar ini adalah tidak ada batas maksimum jumlah cacat *pinhole* yang ada di permukaan keramik.

Oleh karena itu untuk menambah standar tersebut, diambil standar keramik sejenis yaitu ubin keramik SNI ISO 10545-2:2010 tentang ubin keramik-bagian 2: penentuan dimensi dan mutu permukaan, dapat diketahui bahwa mutu permukaan yang harus dipenuhi adalah minimal 95% dari ubin harus tanpa cacat yang tampak ke permukaan.

ISBN 978-602-73461-8-5

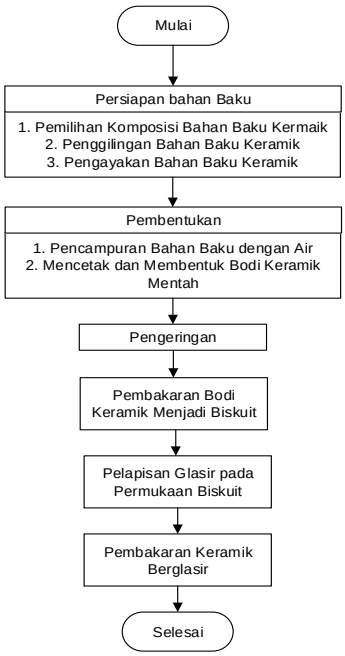
Tabel 2. Syarat mutu sifat tampak *tableware* sni 7275:2008

Syarat Mutu	**Badan Keramik**					
	Majolica	*Fine Earthenware*	Semi porselin	*Stoneware*	*Bonechina*	Porselin
Sifat Tampak	Tidak boleh kelihatan ada noda-noda, lubang jarum (*pinhole*) dengan diameter ≥0,1 mm, gelembung udara, retak, glasir mengelupas, glasir harus menutupi semu permukaan, yang kontak dengan pangan bisa mengkilat maupun tidak					

3.2. Penentuan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Mutu Permukaan Keramik *Tableware*

Pencarian akar permasalahan dari masalah mutu permukaan ini dilakukan dengan melakukan observasi terhadap proses pembuatan keramik *tableware*, dan wawancara kepada *expert* di bidang keramik dan melakukan studi pustaka untuk mendukung hasil wawancara tersebut.

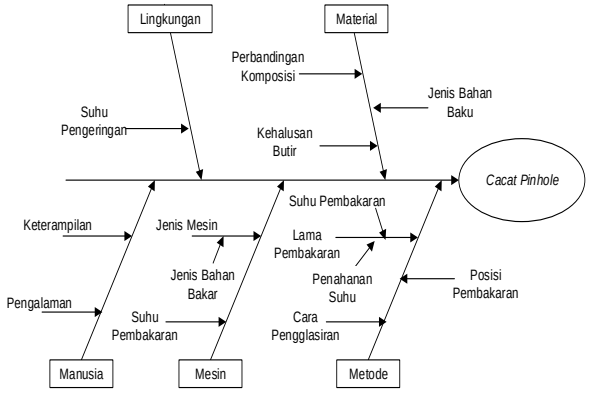
Untuk memahami proses pembuatan keramik dapat dilihat pada *flowchart* proses pembuatan keramik *tableware* pada Gambar 2.



Gambar 2. *Flowchart* proses pembuatan keramik *tableware*

Hasil penggambaran akar masalah mutu permukaan menggunakan *cause effect diagram* dapat dilihat pada Gambar 3.

ISBN 978-602-73461-8-5



Gambar 3. Diagram sebab-akibat mutu permukaan keramik *tableware*

Faktor-faktor yang sudah teridentifikasi tersebut, selanjutnya dikonsultasikan dengan expert di bidang keramik untuk mendapatkan faktor yang akan duji dalam perancangan eksperimen. Setelah dikonsultasikan, terdapat lima buah faktor yang dijadikan variabel dalam penelitian.

Dari kelima faktor yang dipilih ini dapat dibagi menjadi 2 kategori yaitu faktor terkendali (*controllable factor*) dan faktor tidak terkendali (*uncontrollable factor*). Faktor terkendali dan faktor tidak terkendali dari keempat faktor yang dipilih dijabarkan sebagai berikut:

a. Faktor terkendali (*controllable factor*)
   Pada perancangan eksperimen ini faktor terkendali dalam proses pembuatan keramik *tableware* adalah suhu pembakaran bodi keramik, penahanan suhu pembakaran keramik berglasir, cara pengglasiran, dan suhu pembakaran keramik berglasir.
b. Faktor tidak terkendali (*uncontrollable factor*)
   Pada perancangan eksperimen ini faktor tidak terkendali dalam proses pembuatan keramik *tableware* adalah posisi penempatan keramik pada saat pembakaran.

3.3. Penentuan Level Perlakuan Faktor

Penentuan level perlakuan faktor ini dilakukan dengan melakukan konsultasi dengan *expert* keramik. Level perlakuan untuk setiap faktor terkendali dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Level perlakuan faktor terkendali

Faktor	Level 1	Level 2
Suhu Pembakaran Bodi Keramik (A)	900^0C	1000^0C
Waktu Penahanan Pembakaran Glasir (B)	0,5 jam	1 jam
Suhu Pembakaran Glasir (C)	1250^0C	1275^0C

ISBN 978-602-73461-8-5

Faktor	Level 1	Level 2
Cara Pengglasiran (D)	Celup	Kuas

Level untuk faktor penempatan keramik pada mesin pembakaran dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Level perlakuan faktor tidak terkendali

Faktor	Level 1	Level 2
Posisi Pembakaran Keramik (W)	Dekat dengan titik panas	Jauh dengan titik panas

3.4. Tahap *Sreening Experiment*

Tahap ini dilakukan untuk menentukan faktor apa saja yang memberikan efek secara signifikan terhadap respons. Metode yang digunakan dalam tahap *screening* faktor-faktor ini adalah metode Taguchi.

3.5. Pemilihan *Orthogonal Array*

Penentuan *orthogonal array* dilakukan dengan menghitung total derajat kebebasan dari setiap faktor dan interaksi faktor yang teridentifikasi.

Berdasarkan hasil pengamatan dan diskusi dengan *expert* di bidang keramik faktor-faktor yang saling berinteraksi adalah faktor suhu pembakaran bodi keramik (A) dengan faktor lama penahanan suhu pembakaran glasir (B). Faktor suhu pembakaran bodi keramik (A) dengan faktor suhu pembakaran glasir (C), dan lama penahanan suhu pembakaran glasir (B). dengan faktor suhu pembakaran (C).

Perhitungan derajat kebebasan (*degree of freedom*) dengan menggunakan Persamaan 1.

$$Dof = n(2-1) + m(3-1) + a(b-1)(c-1) + 1 \quad \text{..... (1)}$$

Keterangan:
n: jumlah faktor dua level
m: jumlah faktor tiga level
a: interaksi antar dua faktor
b, c: jumlah level faktor yang saling berinteraksi

Pemilihan *orthogonal array* harus memenuhi aturan bahwa jumlah percobaan (*trial*) harus lebih besar atau sama dengan total degree of freedom. Oleh karena itu, *orthogonal array* yang dipakai adalah $L_8(2^7)$.

ISBN 978-602-73461-8-5

3.6. Perhitungan Pengaruh Faktor Terhadap Rata-Rata Kualitas Permukaan Keramik *Tableware*

Data yang telah diambil berdasarkan rancangan eksperimen pada *orthogonal array* akan diolah dan dicari pengaruh faktornya terhadap rata-rata respons. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode ANOVA. Dari hasil perhitungan ANOVA dapat diketahui bahwa faktor yang memberi pengaruh signifikan terhadap rata-rata respons adalah:

a. Faktor B lama penahanan pembakaran glasir
b. Faktor C suhu pembakaran glasir
c. Faktor D cara pengglasiran
d. Interaksi faktor terkendali C dengan faktor tidak terkendali W

3.7. Perhitungan Pengaruh Faktor dan Interaksi Faktor Terhadap Variansi Kualitas Permukaan Keramik *Tableware*

Perhitungan pengaruh faktor dan interaksi faktor terhadap variansi kualitas permukaan keramik dilakukan dengan pengujian ANOVA terhadap nilai *signal to ratio*.

Signal to ratio ini merupakan sebuah transformasi nilai yang menciptakan sebuah parameter baru untuk menilai sebuah sistem dinyatakan *robust*. Perhitungan signal to ratio dalam penelitian ini menggunakan pendekatan the *higher the better* pada Persamaan 2.

$$S/N_{HB} = -10\log\left(\frac{1}{r}\sum_{i=1}^{r}\frac{1}{y_i^{\,2}}\right) \quad \text{..... (2)}$$

Dimana:
n: skala S/N
r: jumlah percobaan dalam satu kali trial
yi: data ke-i

Hasil perhitungan ANOVA untuk nilai SNR respons dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. ANOVA SNR respons

Sumber	fhitung	ftabel	Kesimpulan
B	2.0911E+11	10.13	Signifikan
AB	6.8545E+10	10.13	Signifikan
AC	1.3858E+10	10.13	Signifikan
D	2.5815E+10	10.13	Signifikan

Dari hasil pengujian ANOVA didapatkan bahwa terdapat faktor yang mempengaruhi rata-rata dan juga mempengaruhi variabilitas. Oleh karena itu, prosedur dua tahap Taguchi untuk menentukan level faktor yang menghasilkan eksperimen yang *robust* tidak dapat dilakukan.

3.8. *First Order Model*

ISBN 978-602-73461-8-5

Pendekatan persamaan matematis dalam penggambaran permukaan pada *response surface methodology* untuk orde pertama dilakukan dengan menggunakan metode regresi linear. Hasil persamaan orde pertama terhadap mean dapat dilihat pada Gambar 4.

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	55.2	15.0	3.68	0.003	
lama	-11.42	2.38	-4.79	0.000	1.00
suhu glasir	0.0345	0.0119	2.89	0.013	1.00
glasir					
2	2.01	1.19	1.68	0.118	1.00

Regression Equation

glasir
1 respons_1 = 55.2 - 11.42 lama + 0.0345 suhu glasir

2 respons_1 = 57.3 - 11.42 lama + 0.0345 suhu glasir

Gambar 4. Model persamaan regresi orde satu terhadap mean

Dalam pengujian persamaan regresi terdapat pengujian ANOVA untuk mengetahui perbedaaan koefisien. Jika nilai p-value lebih kecil dari 0,05 maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa model yang diestimasi oleh prosedur regresi memberikan hasil yang signifikan. Hasil pengujian ANOVA untuk model regresi dapat dilihat pada Gambar 5.

Berdasarkan nilai p-value dari masing-masing constant didapati model persamaan yang berpengaruh signifikan terhadap rata-rata yaitu

$Y = 57{,}3 - 11{,}42\ B + 0{,}0345\ C$ .....(3)

Dengan B sebagai level faktor lama waktu penahanan pembakaran dalam jam, dan C sebagai level faktor suhu pembakaran glasir dalam ^{0}C.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	194.02	64.674	11.39	0.001
lama	1	130.41	130.411	22.97	0.000
suhu glasir	1	47.51	47.513	8.37	0.013
glasir	1	16.10	16.099	2.84	0.118
Error	12	68.12	5.677		
Lack-of-Fit	4	24.51	6.128	1.12	0.410
Pure Error	8	43.61	5.451		
Total	15	262.14			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.38260	74.01%	67.52%	53.80%

Gambar 5. ANOVA model regresi orde satu terhadap mean

Selain itu, pada Gambar III.5 diketahui bahwa nilai *lack of fit* sebesar 0,674 persamaan regresi sudah dapat digunakan. Karena nilai R-squared hanya sebesar 74,01% maka model persamaan regresi ini kurang baik dalam menggambarkan sistem nyatanya.

ISBN 978-602-73461-8-5

Selain menentukan persamaan regresi untuk respons rata-rata, dibuat juga persamaan regresi untuk respons SNR. Hal ini bertujuan untuk mengetahui faktor optimal yang membuat nilai SNR semakin baik.
Berdasarkan metode regresi, *first order model* untuk faktor yang memengaruhi nilai SNR adalah

$$Y = 36{,}9 - 0{,}42\ B + 0{,}00163\ AB + 0{,}000003\ AC \quad \text{.....(4)}$$

Hasil pengujian ANOVA untuk model regresi SNR dapat dilihat pada Gambar 6.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	0.93546	0.233864	6.04	0.086
lama	1	0.00105	0.001053	0.03	0.880
glasir	1	0.07826	0.078263	2.02	0.250
suhu bodi*lama	1	0.01429	0.014291	0.37	0.586
suhu bodi*suhu glasir	1	0.15212	0.152119	3.93	0.142
Error	3	0.11619	0.038731		
Total	7	1.05165			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.196802	88.95%	74.22%	20.29%

Gambar 6. ANOVA model regresi orde satu terhadap SNR

Pada Gambar 6 nilai R-squared hanya sebesar 88,95% maka model persamaan regresi untuk SNR ini sudah cukup baik untuk menggambarkan sistem nyatanya.

3.9. *Second Order Model*

Hasil model regresi linear pada *first order model* yang kurang menggambarkan keadaan nyata maka dilakukan pembuatan model persamaan menggunakan teknik *central composite design* (CCD). Pemodelan ini hanya bisa dilakukan jika faktor memiliki lebih dari dua level, dan banyaknya eksperimen minimal $1 + 2k + k(k+1)/2$. Oleh karena itu, dengan menggunakan bantuan *software* Minitab 16.0 pengambilan data eksperimen baru mengikuti Tabel 6.

Tabel 6. Perancangan eksperimen metode CCD

RunOrder	**Faktor B (jam)**	**Faktor C (^{0}C)**	**Faktor D**	***RunOrder***	**Faktor B (jam)**	**Faktor C (^{0}C)**	**Faktor D**
1	1,00000	1280,00	Celup	14	1,10355	1265,00	Kuas
2	1,00000	1250,00	Kuas	15	1,00000	1280,00	Kuas
3	0,75000	1265,00	Kuas	16	0,75000	1265,00	Kuas
4	1,10355	1265,00	Celup	17	0,75000	1265,00	Kuas
5	0,75000	1286,21	Kuas	18	0,50000	1280,00	Kuas
6	0,75000	1265,00	Kuas	19	0,50000	1280,00	Celup
7	0,50000	1250,00	Celup	20	0,75000	1286,21	Celup
8	0,50000	1250,00	Kuas	21	0,75000	1265,00	Kuas
9	0,75000	1265,00	Celup	22	0,75000	1243,79	Kuas
10	0,75000	1243,79	Celup	23	0,75000	1265,00	Celup
11	0,75000	1265,00	Celup	24	1,00000	1250,00	Celup

ISBN 978-602-73461-8-5

RunOrder	Faktor B (jam)	Faktor C (^{0}C)	Faktor D	*RunOrder*	Faktor B (jam)	Faktor C (^{0}C)	Faktor D
12	0,75000	1265,00	Celup	25	0,39645	1265,00	Celup
13	0,75000	1265,00	Celup	26	0,39645	1265,00	Kuas

Selanjutnya data pada hasil eksperimen akan diolah menggunakan Minitab untuk mendapatkan *second order model* menggunakan *response surface regression*. Hasil regresi *response surface* orde dua dapat dilihat pada Gambar 7.

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		90.741	0.350	258.90	0.000	
B	-1.362	-0.681	0.277	-2.46	0.023	1.00
C	5.269	2.634	0.277	9.51	0.000	1.00
D						
Celup	-1.045	-0.522	0.217	-2.40	0.026	1.00
B*B	1.235	0.617	0.297	2.08	0.051	1.02
C*C	0.000	0.000	0.297	0.00	1.000	1.02

Regression Equation in Uncoded Units

D
Celup C8 = -124 - 17.54 B + 0.18 C + 9.88 B*B - 0.00000 C*C

Kuas C8 = -123 - 17.54 B + 0.18 C + 9.88 B*B - 0.00000 C*C

Gambar 7. Model persamaan orde dua terhadap *mean*

Hasil pengujian ANOVA untuk model orde dua dapat dilihat pada Gambar 8.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	130.954	26.191	21.32	0.000
Linear	3	125.561	41.854	34.07	0.000
B	1	7.425	7.425	6.04	0.023
C	1	111.043	111.043	90.39	0.000
D	1	7.093	7.093	5.77	0.026
Square	2	5.393	2.697	2.20	0.137
B*B	1	5.301	5.301	4.32	0.051
C*C	1	0.000	0.000	0.00	1.000
Error	20	24.569	1.228		
Lack-of-Fit	12	18.472	1.539	2.02	0.162
Pure Error	8	6.097	0.762		
Total	25	155.523			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.10835	84.20%	80.25%	72.54%

Gambar 8. ANOVA model orde dua terhadap *mean*

Berdasarkan nilai p-value dari masing-masing *constant* didapati model persamaan yang berpengaruh signifikan terhadap rata-rata yaitu

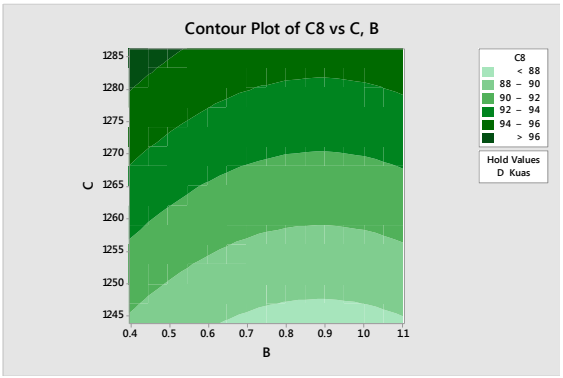
$Y = -123 - 17{,}54\ B + 0{,}18\ C + 9{,}88\ B^2$ .....(5)

Pada Gambar 8 diketahui bahwa nilai *lack of fit* sebesar 0,162 sehingga dapat disimpulkan persamaan orde dua sudah dapat digunakan. Karena nilai R-squared sebesar 84,20% maka model persamaan orde dua sudah dapat dikatakan baik menggambarkan sistem nyatanya.

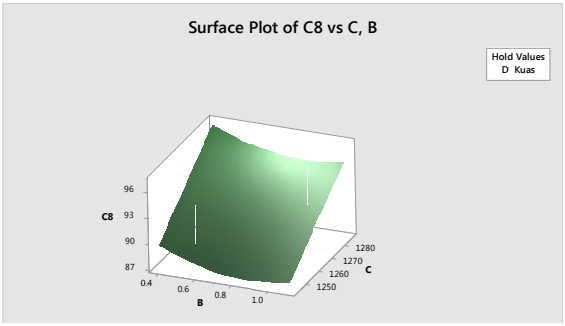
ISBN 978-602-73461-8-5

3.10. Pembuatan *Contour Plot* dan *Surface Plot*

Contour plot dan *surface plot* digunakan untuk menggambarkan daerah persamaan orde pertama atau kedua dalam bentuk dua dimensi dan tiga dimensi. Pada Gambar 9 hasil penggambaran *contour plot* menunjukkan bahwa nilai optimum dari respons rata-rata persentase kualitas permukaan keramik berada pada level rendah untuk faktor B dan level tinggi untuk faktor C. Dari *surface plot* pada Gambar 10, dapat diketahui bentuk permukaan grafik memiliki nilai respons rata-rata persentase permukaan keramik yang baik berada pada level rendah untuk faktor B, dan level tinggi untuk faktor C. Hasil penggambaran *contour plot* menunjukkan bahwa nilai optimum dari respons SNR persentase kualitas permukaan keramik berada pada level rendah untuk faktor B dan level tinggi untuk faktor C.

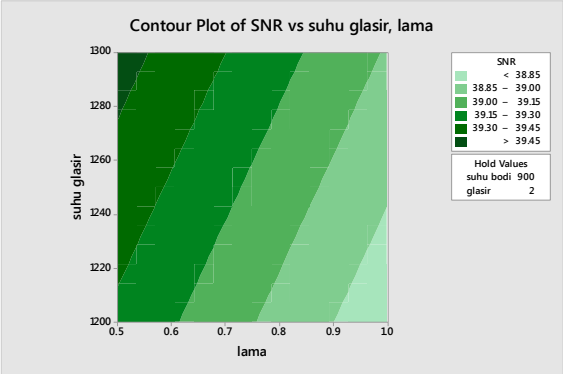


Gambar 9. *Contour Plot* untuk respons rata-rata persentase kualitas permukaan

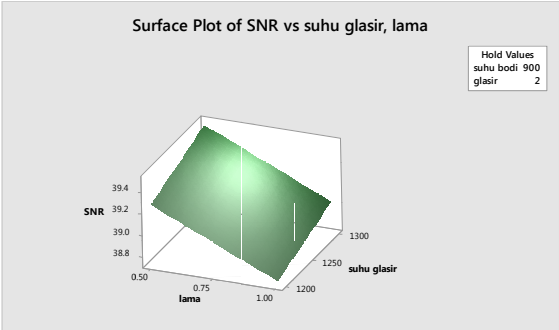


Gambar 10. *Surface Plot* untuk respons rata-rata persentase kualitas permukaan

ISBN 978-602-73461-8-5

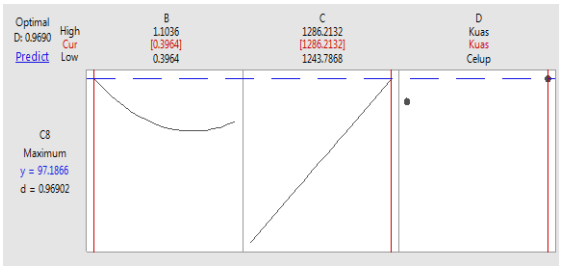


Gambar 11. *Contour Plot* untuk respons snr persentase kualitas permukaan



Gambar 12. *Surface Plot* untuk respons SNR persentase kualitas permukaan

Pencarian titik optimum untuk masing-masing respons didapatkan dengan menggunakan respons *optimizer*. Pada Gambar 13 dilakukan pencarian titik optimum untuk respons rata-rata kualitas permukaan.



Gambar 13. Penentuan titik optimum respons rata-rata *response optimizer*

Berdasarkan hasil *response optimizer*, maka diketahui level faktor yang memberi respons yang maksimum terhadap rata-rata kualitas permukaan keramik *tableware* adalah faktor B pada level waktu sebesar 0,3964 jam dan faktor C pada level suhu sebesar 1286,2132^{0}C, dan faktor D pada level 2 (kuas).

ISBN 978-602-73461-8-5

3.11. Percobaan Konfirmasi

Setelah didapatkan nilai level 30actor yang memberikan respons yang maksimal, maka dilakukan percobaan konfirmasi untuk meyakinkan bahwa hasil usulan level 30actor sudah dapat memberikan hasil keramik yang baik.

Rekapitulasi data percobaan konfirmasi yang telah dilakukan terhadap 10 buah sampel dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Data hasil percobaan konfirmasi

Sampel	Persentase Kualitas Permukaan (%)	Sampel	Persentase Kualitas Permukaan (%)
1	93.82716	6	96.2963
2	92.59259	7	92.59259
3	95.06173	8	96.2963
4	95.06173	9	98.76543
5	97.53086	10	95.06173

Hasil pengujian rata-rata respons percobaan konfirmasi menggunakan *one-sample t* ke-1 dengan hipotesis:

H_0: $\mu = 95$ H_1: $\mu < 95$

dapat dilihat pada Gambar 14.

One-Sample T: Respons

Test of μ = 95 vs < 95

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Upper Bound	T	P
Respons	10	95.309	1.999	0.632	96.468	0.49	0.681

Gambar 14. Hasil pengujian *t-test* 1 percobaan konfirmasi

Nilai P-value pada Gambar 14 sebesar 0,681. Oleh karena itu, dapat disimpulkan H_0 gagal ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa rata-rata respons sama dengan 95%.

Hasil pengujian rata-rata respons percobaan konfirmasi menggunakan *one-sample t* ke-2 dengan hipotesis:

H_0: $\mu = 95$ H_1: $\mu > 95$

dapat dilihat pada Gambar 15.

One-Sample T: Respons

Test of μ = 95 vs > 95

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Lower Bound	T	P
Respons	10	95.309	1.999	0.632	94.150	0.49	0.319

Gambar 15. Hasil pengujian *t-test* 2 percobaan konfirmasi

ISBN 978-602-73461-8-5

Nilai P-value pada Gambar 15 sebesar 0,319. Oleh karena itu, dapat disimpulkan H_0 gagal ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa rata-rata respons sama dengan 95%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pengolahan data yang dilakukan, maka kesimpulan yang didapat adalah:

1. Penentuan fakor dan level faktor proses pembuatan keramik untuk meningkatkan kualitas keramik *tableware* digunakan metode perancangan eksperimen, dan pendekatan desain Taguchi untuk mencapai *robust design*. Faktor-faktor yang mempengaruhi respons persentase cacat *pinhole* pada permukaan keramik *tableware* secara signifikan adalah lama pembakaran keramik berglasir, suhu pembakaran keramik berglasir, dan cara pengglasiran.
2. Level optimal dan range level faktor signifikan dicari dengan menggunakan *response surface methodology*. Usulan desain proses pembuatan keramik *tableware* yang menghasilkan cacat *pinhole* paling minimal adalah lama pembakaran keramik berglasir selama 0,39 jam, suhu pembakaran keramik berglasir sebesar $1286{,}21^0$C dan cara pengglasiran dengan teknik kuas.
3. Dari hasil percobaan konfirmasi dengan menerapkan usulan desain proses pembuatan keramik tableware yang menghasilkan cacat *pinhole* paling minimal didapatkan bahwa nilai rata-rata respons berada pada nilai 95%. Oleh karena itu, hasil usulan desain proses pembuatan keramik yang diterapkan dapat meningkatkan kualitas keramik *tableware* sampai pada standar keramik *tableware* pada SNI 7275:2008.

Daftar Pustaka

Alexander, H. B. (2016, 17 Maret). Soal Industri Keramik, Indonesia Terbesar Ke-6 Dunia. Kompas. Diunduh dari http://properti.kompas.com

Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 7275:2008: Keramik Berglasir-Tableware-Alat Makan dan Minum. Indonesia: BSN

Badan Standarisasi Nasional. (2010). SNI ISO 10545-2:2010: Ubin Keramik-Bagian 2: Penentuan Dimensi dan Mutu Permukaan. Indonesia: BSN.

Bagchi, T. P. (1993). *Taguchi Methods Explained, Practical Steps to Robust Design*. New Delhi: Prentice Hall International.

Barsoum M.W, & Michel Barsoum. (2002). *Fundamentals of Ceramics. New York*: Taylor & Francis Group.

Boch, P., & Jean-Claude N. (2010). *Ceramic Materials: Processes, Properties, and Applications*. London: ISTE Ltd.

Hicks, C. (1993). *Fundamental Concepts in the Design of Experiments, Fourth Edition*. Florida: Saunders College Publishing.

Mitra, A. (1998). *Fundamentals of Quality Control and Improvement Second Edition*. New Jersey: Prentice Hall.

ISBN 978-602-73461-8-5

Montgomery, D. C. (2005). *Design and Analysis of Experiments, 6th ed*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Munz D., & T. Fett. (1999). *Ceramics: Mechanical Properties, Failure Behaviour, Materials Selection*. New York: Springer.

Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson, C. M. (2009). *Response Surface Methodology, 3th ed*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Prasetyo, B. (2016). "Usulan Perbaikan Kualitas Bata Klinker Menggunakan Metode Percancangan Eksperimen di Balai Besar Keramik Bandung. Skripsi. Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional.

Ross, P. J. (1996). *Taguchi Techniques for Quality Engineering: loss function orthogonal experiments, parameter and tolerance design*. New York: McGraw Hill Inc.

Supomo. (2001). Analisa penyebab dan cara penanggulangan cacat glasir pada produk keramik konvensional. Informasi Teknologi Keramik & Gelas, ITKG, 10(2).

ISBN 978-602-73461-8-5

Tentang SeNTI UGM 2018

SeNTI (Seminar Nasional Teknik Industri) 2018 dihadirkan untuk mewadahi peneliti, praktisi, dan mahasiswa untuk saling bertukar pikiran mengenai isu-isu terkini dalam ranah keilmuan teknik industri serta menjadi media untuk saling berbagi mengenai kebutuhan dan kompetensi terkini yang masih bisa ditingkatkan demi tercapainya kontribusi yang lebih optimal.

SeNTI merupakan seminar nasional yang dilaksanakan oleh Program Studi Teknik Industri, Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, bekerja sama dengan alumni-alumni yang tersebar di seluruh Indonesia. Pada tahun 2018 ini, SeNTI dilaksanakan di Yogyakarta pada tanggal 17 Oktober 2018 dan terkumpul 62 judul paper yang dihadirkan melalui buku proceeding ini.

Diharapkan dengan terselenggaranya SeNTI 2018 ini, dapat terjalin tukar pikiran mengenai isu-isu yang berkembang saat ini dan yang akan datang pada ranah keilmuan Teknik Industri, serta juga dapat memacu para peneliti, praktisi, maupun mahasiswa untuk selalu melakukan terobosan-terobosan pada keilmuan Teknik Industri sehingga membuat kehidupan manusia menjadi lebih baik.

PANITIA SEMINAR NASIONAL TEKNIK INDUSTRI 2018
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA
Ruang Administrasi S2 DTMI FT UGM
Gedung A, Lantai 2, Jl. Grafika 2
Yogyakarta 55281
Telp/Fax: +62 274 521 673
senti.ft@ugm.ac.id

ISBN 978-602-73461-8-5

9 786027 346185